

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-150669

(43)Date of publication of application : 30.05.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/8238

H01L 27/092

H01L 21/28

H01L 29/78

(21)Application number : 10-326973

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 17.11.1998

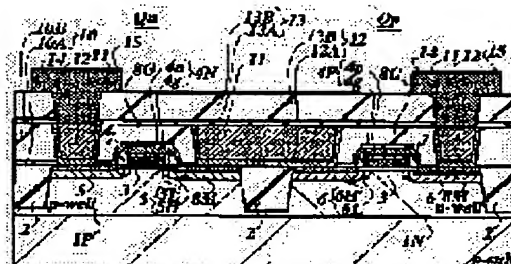
(72)Inventor : AOKI NOBUTOSHI
OUCHI KAZUYA
MIZUSHIMA ICHIRO

(54) SEMICONDUCTOR INTEGRATED CIRCUIT AND FABRICATION THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a stabilized threshold level by forming the first region of a gate electrode of first and second group IV elements of different kind and forming a second region of the first group IV element thereby preventing impurities doped into the gate electrode from leaking to the channel region side.

SOLUTION: A gate electrode 4P, 4N has a first underlying region 4g formed on the gate insulation film 3 side contiguously thereto, and an second overlying region 4p, 4n formed on the first region 4g while spaced apart from the gate insulation film 3. The first region 4g is formed of SiGe having a group IV element, i.e., Si, and a different group IV element, i.e., Ge. The second region 4p, 4n is formed of one kind of group IV element, i.e. Si. In a complementary MISFET of dual gate electrode structure, the threshold voltages can be stabilized respectively using identical gate electrodes 4P, 4N containing first and second group IV elements.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.06.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 06.04.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3616514

[Date of registration] 12.11.2004

[Number of appeal against examiner's decision] 2004-09471

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-150669

(P2000-150669A)

(43) 公開日 平成12年5月30日 (2000. 5. 30)

| (51) Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テマコード* (参考) |
|---------------------------|-------|---------------|-------------------|
| H 0 1 L 21/8238 | | H 0 1 L 27/08 | 3 2 1 D 4 M 1 0 4 |
| 27/092 | | 21/28 | 3 0 1 D 5 F 0 4 0 |
| 21/28 | 3 0 1 | 29/78 | 3 0 1 C 5 F 0 4 8 |
| 29/78 | | | 3 0 1 S |

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願平10-326973

(22) 出願日 平成10年11月17日 (1998. 11. 17)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 青木 伸俊

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株

式会社東芝横浜事業所内

(72) 発明者 大内 和也

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株

式会社東芝横浜事業所内

(74) 代理人 100083806

弁理士 三好 秀和 (外7名)

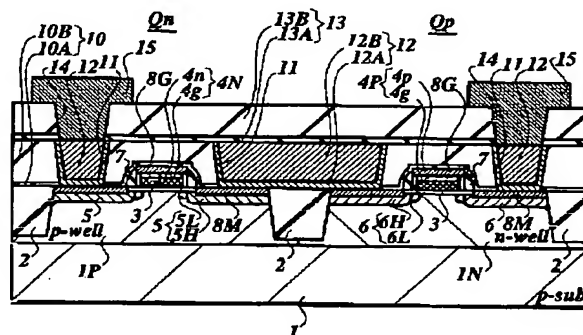
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体集積回路及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 MISFETのゲート電極にドーピングされた不純物のチャネル形成領域側への漏れを防止し、また不純物の濃度を全域にわたって十分に確保し、安定した閾値電圧を得ることができる半導体集積回路を提供する。シリサイド電極の抵抗値を減少させることができる半導体集積回路を提供する。

【解決手段】 nチャネルMISFET Q nのゲート電極4 Nが、少なくとも2種類の第1及び第2四族元素で形成された第1領域4 gと第1四族元素で形成された第2領域4 nとで構成される。pチャネルMISFET Q pのゲート電極4 Pは同様に第1領域4 gと第2領域4 pとで構成される。第1領域4 gは例えばSiGeで、第2領域4 n、4 pはそれぞれSiで形成される。ゲート電極4 N、4 P上にはそれぞれ第2領域4 n、4 pの少なくとも一部をシリサイド化したシリサイド電極8 Gが形成される。



- 1 半導体基板
- 1P, 1N ウェル領域
- 2 素子分離領域
- 3 ゲート絶縁膜
- 4P, 4N ゲート電極
- 4p, 4n 第2領域 (Si)
- 4g 第1領域 (SiGe)
- 5, 6 ソース電極又はドレイン電極
- 5L, 5H 半導体領域
- 6L, 6H 半導体領域
- 7 ゲート側壁
- 8G, 8M シリサイド電極
- 10, 13 層間絶縁膜
- 11, 14 コンタクトホール
- 12 コンタクトプラグ
- 15 配線

【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上にゲート絶縁膜を介して設けられたゲート電極のゲート絶縁膜側の第1領域が種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成され、前記ゲート電極のゲート絶縁膜から離間された第2領域が前記第1四族元素で形成された絶縁ゲート型電界効果トランジスタを備えたことを特徴とする半導体集積回路。

【請求項2】 前記ゲート電極の第1領域は、第2四族元素の組成比をゲート絶縁膜からの距離に応じて連続的に減少させたことを特徴とする請求項1に記載の半導体集積回路。

【請求項3】 前記ゲート電極の第1領域は、第2四族元素の組成比をゲート絶縁膜からの距離に応じて段階的に減少させたことを特徴とする請求項1に記載の半導体集積回路。

【請求項4】 半導体基板上にゲート絶縁膜を介して設けられたゲート電極のゲート絶縁膜側の第1領域が種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成され、前記ゲート電極のゲート絶縁膜から離間された第2領域が前記第1四族元素で形成された絶縁ゲート型電界効果トランジスタであって、前記ゲート電極の第2領域に接して形成され、前記第2四族元素が実質的に含まれないシリサイド電極をさらに備えたことを特徴とする半導体集積回路。

【請求項5】 前記ゲート電極の第1四族元素はSiであり、前記ゲート電極の第2四族元素はGeであり、前記シリサイド電極はGeが実質的に含まれないCoSi₂層又はTiSi₂層であることを特徴とする請求項4に記載の半導体集積回路。

【請求項6】 前記ゲート電極の第1領域はSiで形成されたゲート電極の場合に発生するゲート空乏層の幅よりも厚いことを特徴とする請求項5に記載の半導体集積回路。

【請求項7】 前記ゲート電極の第1領域はGeの組成比を少なくとも0.1以上に設定したことを特徴とする請求項6に記載の半導体集積回路。

【請求項8】 前記ゲート電極には少なくともBが含まれることを特徴とする請求項7に記載の半導体集積回路。

【請求項9】 前記ゲート電極には少なくともAsが含まれることを特徴とする請求項7に記載の半導体集積回路。

【請求項10】 前記ゲート電極の第1四族元素はSiであり、前記ゲート電極の第2四族元素はCであり、前記シリサイド電極はCが実質的に含まれないCoSi₂層又はTiSi₂層であることを特徴とする請求項4に記載の半導体集積回路。

【請求項11】 半導体基板上にゲート絶縁膜を介して設けられたゲート電極のゲート絶縁膜側の第1領域が種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成され、前記ゲート電極のゲート絶縁膜から離間された第2領域が少なくとも前記第1四族元素、第2四族元素及び金属を含む多元化合物で形成された絶縁ゲート型電界効果トランジスタであって、前記ゲート電極の第2領域に接して形成され、前記第1四族元素及び金属を含み、前記第2四族元素が実質的に含まれないシリサイド電極をさらに備えたことを特徴とする半導体集積回路。

【請求項12】 半導体基板上にゲート絶縁膜を介して設けられたゲート電極と、このゲート電極の両側の前記半導体基板に設けられたソース電極及びドレイン電極とを有する絶縁ゲート型電界効果トランジスタを備えた半導体集積回路の製造方法において、種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素でゲート絶縁膜側に形成された第1領域と、前記第1四族元素で前記ゲート絶縁膜から離間されて形成された第2領域とを有するゲート電極を形成する工程と、前記ゲート電極の第2領域の少なくとも一部をシリサイド化してシリサイド電極を形成する工程と、を備えたことを特徴とする半導体集積回路の製造方法。

【請求項13】 半導体基板上にゲート絶縁膜を介して設けられたゲート電極と、このゲート電極の両側の前記半導体基板に設けられたソース電極及びドレイン電極とを有する絶縁ゲート型電界効果トランジスタを備えた半導体集積回路の製造方法において、種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素でゲート絶縁膜側に形成された第1領域と、前記第1四族元素で前記ゲート絶縁膜から離間されて形成された第2領域とを有する、第1チャネル導電型の第1ゲート電極を形成し、前記第1チャネル導電型とは反対導電型の第2チャネル導電型の第2ゲート電極を形成する工程と、

前記第1ゲート電極に第1導電型不純物を導入し、前記第2ゲート電極に第2導電型不純物を導入する工程と、前記第1ゲート電極、第2ゲート電極のそれぞれの第2領域の少なくとも一部をシリサイド化してシリサイド電極を形成する工程と、

を備えたことを特徴とする半導体集積回路の製造方法。

【請求項14】 前記第1ゲート電極に第1導電型不純物を導入する工程は第1チャネル導電型の絶縁ゲート型電界効果トランジスタにおいてソース電極又はドレイン電極である主電極を形成する第1導電型不純物の導入工程と同一工程であり、

前記第2ゲート電極に第2導電型不純物を導入する工程は第2チャネル導電型の絶縁ゲート型電界効果トランジスタにおいてソース電極及びドレイン電極である主電極を形成する第2導電型不純物の導入工程と同一工程であ

ることを特徴とする請求項13に記載の半導体集積回路の製造方法。

【請求項15】 第1導電型の半導体領域と、前記半導体領域上の第1領域が種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成され、前記半導体領域から離間された第2領域が第1四族元素で形成されたエピタキシャル成長層と、前記エピタキシャル成長層の第2領域上のシリサイド電極と、を備えたことを特徴とする半導体集積回路。

【請求項16】 前記半導体領域は絶縁ゲート型電界効果トランジスタのソース電極又はドレイン電極として使用される主電極であり、前記エピタキシャル成長層はエレベーターソース電極又はエレベータードレイン電極として使用されるエレベーター電極であることを特徴とする請求項15に記載の半導体集積回路。

【請求項17】 前記エレベーター電極の第1四族元素はSiであり、前記エレベーター電極の第2四族元素はGeであり、前記シリサイド電極はGeが実質的に含まれない CoSi_2 層又は TiSi_2 層であることを特徴とする請求項16に記載の半導体集積回路。

【請求項18】 前記エレベーター電極の第1領域はGeの組成比を少なくとも0.1以上に設定し、前記第1領域の半導体領域からの厚さが少なくとも2nmに設定されたことを特徴とする請求項17に記載の半導体集積回路。

【請求項19】 前記エレベーター電極には少なくともBが含まれることを特徴とする請求項18に記載の半導体集積回路。

【請求項20】 前記エレベーター電極には少なくともAsが含まれることを特徴とする請求項18に記載の半導体集積回路。

【請求項21】 前記エレベーター電極の第1四族元素はSiであり、前記エレベーター電極の第2四族元素はCであり、前記シリサイド電極はCが実質的に含まれない CoSi_2 層又は TiSi_2 層であることを特徴とする請求項16に記載の半導体集積回路。

【請求項22】 絶縁ゲート型電界効果トランジスタのソース電極又はドレイン電極である主電極を形成する工程と、前記主電極上に種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成された第1領域と、前記主電極から離間されて第1四族元素で形成された第2領域とを有するエレベーター電極を形成する工程と、前記エレベーター電極の第2領域の少なくとも一部をシリサイド化してシリサイド電極を形成する工程と、を備えたことを特徴とする半導体集積回路の製造方法。

【請求項23】 半導体基板上にゲート絶縁膜を介して設けられたゲート電極のゲート絶縁膜側の第1領域が種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成され、前記ゲート電極のゲート絶縁膜から離間された第2領域が前記第1四族元素で形成された絶縁ゲート型電界効果トランジスタであって、前記絶縁ゲート型電界効果トランジスタのソース電極又はドレイン電極である主電極上の第1領域が種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成され、前記主電極から離間された第2領域が第1四族元素で形成されたエレベーター電極と、前記ゲート電極の第2領域に接して形成され、前記第2四族元素が実質的に含まれない第1シリサイド電極と、前記エレベーター電極の第2領域に接して形成され、前記第2四族元素が実質的に含まれない第2シリサイド電極と、をさらに備えたことを特徴とする半導体集積回路。

【請求項24】 半導体基板上にゲート絶縁膜を介して設けられたゲート電極と、このゲート電極の両側の前記半導体基板に設けられたソース電極及びドレイン電極とを有する絶縁ゲート型電界効果トランジスタを備えた半導体集積回路の製造方法において、種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素でゲート絶縁膜側に形成された第1領域と、前記第1四族元素で前記ゲート絶縁膜から離間されて形成された第2領域とを有するゲート電極を形成する工程と、前記ソース電極又はドレイン電極である主電極上に種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成された第1領域と、前記主電極から離間されて前記第1四族元素で形成された第2領域とを有するエレベーター電極のそれぞれを形成する工程と、前記ゲート電極の第2領域の少なくとも一部をシリサイド化して第1シリサイド電極を形成するとともに、前記エレベーター電極の第2領域の少なくとも一部をシリサイド化して第2シリサイド電極を形成する工程と、を備えたことを特徴とする半導体集積回路の製造方法。

【請求項25】 前記ゲート絶縁膜とゲート電極の第1領域との間にはさらに第1領域の厚さよりも薄い膜厚の第1四族元素の層又は第2四族元素の層を備えたことを特徴とする請求項1、請求項4、請求項11のいずれかに記載の半導体集積回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体集積回路及びその製造方法に関する。特に本発明は、種類の異なる少なくとも2種類以上の四族元素(IV族元素)の領域を有するゲート電極で絶縁ゲート型電界効果トランジスタを構築した半導体集積回路及びその製造方法に関する。さらに、本発明は、絶縁ゲート型電界効果トランジスタのソース電極又はドレイン電極として使用される主電極に

エレベータッド電極を備えた半導体集積回路及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体集積回路を構築するMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) の微細化に伴い、MOSFETのゲート絶縁膜は薄膜化される傾向にある。さらに、微細化に伴う短チャネル効果を抑制するために、相補型MOSFETにおいてはデュアルゲート (dual gate) 電極構造が採用される傾向にある。デュアルゲート電極構造とは、nチャネルMOSFETのゲート電極をn型に設定し、pチャネルMOSFETのゲート電極をp型に設定した構造である。

【0003】デュアルゲート電極構造は、一般的に通常の相補型MOSFETの製造プロセスを利用し、製造工程数を増加させることなく形成される。すなわち、まず、nチャネルMOSFETにおいては、n型半導体領域のソース電極及びドレイン電極を形成するn型不純物のドーピングと同時に同一のn型不純物がゲート電極にドーピングされる。pチャネルMOSFETにおいては、p型半導体領域のソース電極及びドレイン電極を形成するp型不純物のドーピングと同時に同一のp型不純物がゲート電極にドーピングされる。ドーピングにはイオン注入法が使用される。そして、アニールが行われ、ドーピングされた不純物が拡散されるとともに活性化される。n型不純物がドーピングされたゲート電極はn型に設定され、p型不純物がドーピングされたゲート電極はp型に設定される。

【0004】さらに、MOSFETの微細化に伴い、MOSFETのソース電極及びドレイン電極のシャロー化並びに低抵抗化が要求されている。このシャロー化並びに低抵抗化にはエレベータッド (elevated source drain又はraised source drain) 電極構造を採用することが最適である。エレベータッド電極構造は、単結晶Si基板表面部に形成したソース電極 (半導体領域) 上、ドレイン電極 (半導体領域) 上のそれぞれにエレベータッド電極を積み重ねた電極構造である。エレベータッド電極は単結晶Si基板上に成長させたエピタキシャル成長層で形成され、ソース電極及びドレイン電極はエレベータッド電極の形成後にエレベータッド電極を固体拡散源として単結晶Si基板表面部に不純物を拡散することにより形成される。エレベータッド電極構造においては、ソース電極及びドレイン電極が単結晶Si基板表面からの拡散で形成されるので、浅い接合が形成できる。さらに、エレベータッド電極構造においては、ソース電極上にエレベータッド電極が、同様にドレイン電極上にエレベータッド電極が各々重ね合わされているので、電極の抵抗値を低減させることができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述のMOSFETを備えた半導体集積回路においては、以下の点について配慮がなされていない。

【0006】(1)デュアルゲート電極構造の採用によりnチャネルMOSFET、pチャネルMOSFETのそれぞれに個別の問題が発生する。pチャネルMOSFETにおいては、浅い接合のソース電極及びドレイン電極を形成するために、イオン注入にはイオン注入分布を浅くできる BF_2 (弗化硼素) イオンが使用される。この場合、B (硼素) と同時にイオン注入されるF (弗素) がゲート絶縁膜 (ゲート酸化膜) 中に侵入し、このFがゲート絶縁膜中のBの拡散を促進させてしまうので、ゲート電極から基板 (チャネル形成領域) にBが突き抜けてしまう。微細化に伴うゲート絶縁膜の薄膜化はこのようなBの突き抜けを助長してしまう。仮にFが存在しなくてもゲート絶縁膜の薄膜化によりBの突き抜けが発生する。このため、pチャネルMOSFETの閾値電圧を変動させてしまうので、半導体集積回路の電気的信頼性を低下させてしまうという問題があった。

【0007】一方、nチャネルMOSFETにおいては、同様に浅い接合のソース電極及びドレイン電極を形成するために、イオン注入には拡散速度が遅いAs (砒素) イオンが使用される。製造工程数の増加を避けるためにはソース電極及びドレイン電極と同様にゲート電極にドーピングされるn型不純物にはAsイオンが使用される。このAsイオンは、浅い接合のソース電極及びドレイン電極を形成するには (ソース電極及びドレイン電極のシャロー化を図るには) 適しているが、逆に拡散速度が遅いのでゲート電極全体に高濃度に拡散させることが難しく、ゲート電極のゲート絶縁膜側においてAs濃度が不十分になる。特に、ソース電極及びドレイン電極のシャロー化のためにアニール温度が低温化される傾向にあり、またアニール時間が短時間化される傾向にあり、ゲート電極のゲート絶縁膜側のAs濃度不足はより一層助長されてしまう。このため、実動作でゲート電極にゲートバイアスを印加するとゲート電極内に空乏層が発生し、nチャネルMOSFETの閾値電圧を変動させてしまうので、半導体集積回路の電気的信頼性を低下させてしまうという問題があった。

【0008】(2) このように、半導体集積回路の電気的信頼性を低下させてしまうので、MOSFETの微細化の障害になり、半導体集積回路の集積化を実現することができないという問題があった。

【0009】(3) 特開平4-25176号公報には、pチャネルMOSFETにおいてBの突き抜けを防止する発明が開示されている。この公報に開示された発明によれば、多結晶SiにGe等の不純物を含むゲート電極を形成し、このゲート電極にBをイオン注入法でドーピングすることにより、熱工程における多結晶Siのグレイン成長を抑制することができ、グレインに沿うBの拡散を抑えることができる。しかしながら、最近のゲート電極には低抵抗化のためにゲート電極上部をシリサイド化したシリサイド電極を形成する傾向にあり、このシリサイド電極にゲ

ート電極のGe等の不純物が含まれるとシリサイド電極の抵抗値が高くなってしまふ。このため、MOSFETのスイッチング動作速度の高速化や低電源電圧化が実現できないという問題があった。

【0010】(4) エレベータッド電極構造において、特にpチャネルMOSFETのソース電極及びドレイン電極を形成するp型不純物にはBが使用されており、このBは拡散速度がn型不純物としてのAsに比べて速い。このため、pチャネルMOSFETにおいて充分なシャロー化が得られないので、半導体集積回路の集積化を実現することができないという問題があった。

【0011】(5) エレベータッド電極構造において、エレベータッド電極中のBの活性濃度を充分に得ることができないので、エレベータッド電極の抵抗値が増加してしまふ。このため、pチャネルMOSFETのスイッチング動作速度の高速化や低電源電圧化が実現できないという問題があった。

【0012】(6) エレベータッド電極構造において、低抵抗化のためにエレベータッド電極にシリサイド電極を形成する研究開発が進められている。しかしながら、エレベータッド電極とシリサイド電極との間の接触抵抗値を充分に小さくすることができないので、MOSFETのスイッチング動作速度の高速化や低電源電圧化が実現できないという問題があった。

【0013】本発明は上記課題を解決するためになされたものである。従って、本発明の第1の目的は、ゲート電極にドーピングされた不純物のチャネル領域側への漏れを防止することにより、安定した閾値電圧を得ることができ、電気的信頼性を向上させることができる絶縁ゲート型電界効果トランジスタ(MISFET: Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor)を備えた半導体集積回路を提供することである。本発明の第2の目的は、ゲート電極にドーピングされた不純物の濃度を全域にわたって充分に確保し、ゲート電極の空乏層化を防止することにより、安定した閾値電圧を得ることができ、電気的信頼性を向上させることができるMISFETを備えた半導体集積回路を提供することである。本発明の第3の目的は、第1の目的並びに第2の目的を同時に達成することができる半導体集積回路を提供することである。特に、本発明の第3の目的は、相補型MISFETのいずれのチャネル導電型のMISFETにおいても安定した閾値電圧を得ることができ、電気的信頼性を向上させることができる半導体集積回路を提供することである。本発明の第4の目的は、第1乃至第3の目的の少なくともいずれか1つの目的を達成しつつ、MISFETの微細化を図り、集積度を向上させることができる半導体集積回路を提供することである。本発明の第5の目的は、第1乃至第3の目的の少なくともいずれか1つの目的を達成しつつ、MISFETのスイッチング動作速度の高速化並びに低電源電圧化を実現することができ、回路動作速度の高速化並びに

低消費電力化を実現することができる半導体集積回路を提供することである。特に本発明の第5の目的は、MISFETのゲート電極に備えたシリサイド電極の抵抗値を減少させることにより、MISFETのスイッチング動作速度の高速化並びに低電源電圧化を実現することができ、回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる半導体集積回路を提供することである。本発明の第6の目的は、第1乃至第5の目的の少なくともいずれか1つの目的を達成しつつ、製造工程数を低減させることができる半導体集積回路の製造方法を提供することである。特に、本発明の第6の目的は、相補型MISFETの製造工程数を低減させることができる半導体集積回路の製造方法を提供することである。

【0014】本発明の第7の目的は、エレベータッド電極を備えたMISFETのソース電極及びドレイン電極(主電極)のシャロー化を図り、MISFETの微細化を実現することにより、集積度を向上させることができる半導体集積回路を提供することである。本発明の第8の目的は、第7の目的を達成しつつ、エレベータッド電極の低抵抗化並びに低電源電圧化を実現し、回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる半導体集積回路を提供することである。本発明の第9の目的は、第7又は第8の目的を達成しつつ、エレベータッド電極とシリサイド電極との接触抵抗値を減少させ、回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる半導体集積回路を提供することである。本発明の第10の目的は、第7乃至第9の目的を達成しつつ、製造工程数を低減させることができる半導体集積回路の製造方法を提供することである。本発明の第11の目的は、第1乃至第10の目的の少なくとも2以上の目的を同時に達成することができる半導体集積回路又は半導体集積回路の製造方法を提供することである。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、この発明の第1の特徴は、半導体集積回路において、MISFETのゲート電極のゲート絶縁膜側の第1領域が種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成され、ゲート電極のゲート絶縁膜から離間された第2領域が第1四族元素で形成されたことである。ゲート電極の第1領域は第2四族元素の組成比をゲート絶縁膜からの距離に応じて連続的に、又は第2四族元素の組成比をゲート絶縁膜からの距離に応じて段階的に減少させることが好ましい。ゲート電極の第1四族元素にはSi、第2四族元素にはGe又はCが実用的に使用できる。ゲート電極の第1領域はSiで形成されたゲート電極の場合に発生するゲート空乏層の幅よりも厚く形成されることが好ましい。第1領域のGeの組成比は実用的に少なくとも0.1以上に設定される。ゲート絶縁膜とゲート電極の第1領域との間には第1領域の厚さよりも薄い膜厚例えば1nm以下の膜厚の第1四族元素の層すなわちGeが実質

的に含まれないSi層又は第2四族元素の層すなわちSiが実質的に含まれないGe層が存在してもよい。pチャネルMISFETのゲート電極には少なくともBが含まれる。nチャネルMISFETのゲート電極には少なくともAsが含まれる。このように構成される半導体集積回路においては、pチャネルMISFETの場合、ゲート電極のゲート絶縁膜側に第2四族元素であるGe又はCが含まれるので、p型不純物であるBの拡散速度を減少させ、Bのチャネル領域側への漏れを防止することができる。従って、pチャネルMISFETの閾値電圧を安定化させることができ、半導体集積回路の電気的信頼性を向上させることができる。さらに、nチャネルMISFETの場合、ゲート電極のゲート絶縁膜側に第2四族元素であるGe又はCが含まれるので、n型不純物であるAsの拡散速度を促進し、ゲート電極全域にわたってAsの不純物濃度を十分に確保することができる。従って、ゲート電極の空乏層化を防止することができ、nチャネルMISFETの閾値電圧を安定化させることができるので、半導体集積回路の電気的信頼性を向上させることができる。特に、デュアルゲート電極構造の相補型MISFETを備えた半導体集積回路においては、第1及び第2四族元素を含む同一ゲート電極の使用でpチャネルMISFET、nチャネルMISFETのそれぞれの閾値電圧を同時に安定化させることができる。この結果、MISFETの微細化を実現することができ、半導体集積回路の集積度を向上させることができる。

【0016】この発明の第2の特徴は、第1の特徴の半導体集積回路において、MISFETのゲート電極の第2領域に接して形成され、第2四族元素が実質的に含まれないシリサイド電極を備えたことである。シリサイド電極は第2四族元素であるGe又はCが実質的に含まれないシリサイド電極であり、シリサイド電極には CoSi_2 層又は TiSi_2 層が実用的に使用できる。このように構成される半導体集積回路においては、シリサイド電極に第2四族元素が実質的に含まれないことでシリサイド電極の抵抗値を減少させることができ、MISFETのスイッチング動作速度の高速化並びに低電源電圧化を実現することができる。従って、半導体集積回路の回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる。

【0017】この発明の第3の特徴は、MISFETを備えた半導体集積回路において、ゲート電極のゲート絶縁膜側の第1領域が種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成され、ゲート電極のゲート絶縁膜から離間された第2領域が少なくとも第1四族元素、第2四族元素及び金属を含む多元化合物で形成されたMISFETと、ゲート電極の第2領域に接して形成され、第1四族元素及び金属を含み、第2四族元素が実質的に含まれないシリサイド電極と、を備えたことである。このように構成される半導体集積回路においては、MISFETのゲート電極の第2領域が多元化合物であってもこの発明の第2の特徴の半導体集積回路と同様の効果が得られる。

【0018】この発明の第4の特徴は、MISFETを備えた半導体集積回路の製造方法において、下記工程を備えたことである。

(1) 種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素でゲート絶縁膜側に形成された第1領域と、第1四族元素でゲート絶縁膜から離間されて形成された第2領域とを有する、MISFETのゲート電極を形成する工程。

(2) ゲート電極の第2領域の少なくとも一部をシリサイド化してシリサイド電極を形成する工程。このような半導体集積回路の製造方法においては、第1四族元素で形成された第2領域の範囲内でシリサイド化を行いシリサイド電極を形成したので、シリサイド電極には実質的に第2四族元素（例えばGe又はC）が含まれないシリサイド電極を形成することができる。従って、製造工程数を増加することなく、容易にシリサイド電極の抵抗値を減少させることができる。なお、ゲート電極の第2領域のすべてをシリサイド化し、シリサイド電極が直接ゲート電極の第1領域に接触してもよい。この場合のシリサイド電極は、同様に実質的に第2四族元素を含まない。

【0019】この発明の第5の特徴は、MISFETを備えた半導体集積回路の製造方法において、下記工程を備えたことである。

(1) 種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素でゲート絶縁膜側に形成された第1領域と、第1四族元素でゲート絶縁膜から離間されて形成された第2領域とを有する、第1チャネル導電型のMISFETの第1ゲート電極、及び第1チャネル導電型とは反対導電型の第2チャネル導電型のMISFETの第2ゲート電極を形成する工程。

(2) 第1ゲート電極に第1導電型不純物を導入し、第2ゲート電極に第2導電型不純物を導入する工程。第1ゲート電極に第1導電型不純物を導入する工程は、製造工程数を減少させるために第1チャネル導電型のMISFETにおいてソース電極又はドレイン電極である主電極を形成する第1導電型不純物の導入工程と同一工程であることが好ましい。同様に、第2ゲート電極に第2導電型不純物を導入する工程は第2チャネル導電型のMISFETにおいてソース電極及びドレイン電極である主電極を形成する第2導電型不純物の導入工程と同一工程であることが好ましい。

(3) 第1ゲート電極、第2ゲート電極のそれぞれの第2領域の少なくとも一部をシリサイド化してシリサイド電極を形成する工程。このような半導体集積回路の製造方法においては、第1領域及び第2領域を有するゲート電極を相補型MISFETのそれぞれにおいて同一製造工程で形成し、デュアルゲート電極構造の相補型MISFETを形成することができるので、ゲート電極を相補型MISFETのそれぞれで別々に形成する場合に比べて製造工程数を減少させることができる。さらに、相補型MISFETのそれぞれにおいては、第1の特徴の半導体集積回路で得られる効

果並びに第4の特徴の半導体集積回路の製造方法で得られる効果と同一の効果を得ることができる。

【0020】この発明の第6の特徴は、半導体集積回路において、第1導電型の半導体領域と、半導体領域上の第1領域が種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成され、半導体領域から離間された第2領域が第1四族元素で形成されたエピタキシャル成長層と、エピタキシャル成長層の第2領域上のシリサイド電極と、を備えたことである。半導体領域はMISFETのソース電極又はドレイン電極として使用される主電極であり、エピタキシャル成長層はエレベータードソース電極又はエレベータードドレイン電極として使用されるエレベータード電極である。エレベータード電極の第1四族元素にはSiが、エレベータード電極の第2四族元素にはGe又はCが実用的に使用できる。好ましくは、エレベータード電極の第1領域はGeの組成比を少なくとも0.1以上に設定し、第1領域の半導体領域からの厚さは少なくとも2nmに設定される。シリサイド電極はGe又はCが実質的に含まれない CoSi_2 層又は TiSi_2 層であることが好ましい。相補型MISFETの場合、pチャネルMISFETの主電極上に形成されるエレベータード電極には少なくともBが含まれる。nチャネルMISFETの主電極上に形成されるエレベータード電極には少なくともAsが含まれる。このように構成される半導体集積回路においては、エピタキシャル成長層すなわちエレベータード電極の第1領域に含まれる第2四族元素によりエレベータード電極内にドーピングされた不純物の拡散速度、特にp型不純物であるBの拡散速度を減少させることができる。従って、エレベータード電極から拡散により形成される半導体領域の接合深さを浅くすることができるので、ソース電極及びドレイン電極（主電極）のシャロー化を実現することができる。半導体集積回路の集積度を向上させることができる。さらに、エレベータード電極内でのp型不純物の活性濃度がSi中に比べて高くなり、エレベータード電極内のキャリア濃度（ホール濃度）を高くすることができる。従って、エレベータード電極の低抵抗化並びに低電源電圧化を実現し、半導体集積回路の回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる。さらに、シリサイド電極に第2四族元素が実質的に含まれないことでシリサイド電極の抵抗値を減少させることができ、MISFETのスイッチング動作速度の高速化並びに低電源電圧化を実現することができる。従って、半導体集積回路の回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる。さらに、エレベータード電極のシリサイド電極との接触部分に第2四族元素が含まれる場合には、エレベータード電極とシリサイド電極との間のエネルギーギャップを減少させ、ショットキー障壁の高さを減少させることができるので、エレベータード電極とシリサイド電極との間の接触抵抗値を減少させることができる。従って、半導体集積回路の回路動作速度の高速化

並びに低消費電力化を実現することができる。

【0021】この発明の第7の特徴は、半導体集積回路の製造方法において、下記工程を備えたことである。

(1) 半導体基板主面に半導体領域を形成する工程。

(2) 半導体領域上に種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成された第1領域と、半導体領域から離間されて第1四族元素で形成された第2領域とを有するエピタキシャル成長層を形成する工程。

(3) エピタキシャル成長層の第2領域の少なくとも一部をシリサイド化してシリサイド電極を形成する工程。このような半導体集積回路の製造方法においては、第1四族元素で形成された第2領域の範囲内でシリサイド化を行いシリサイド電極を形成したので、シリサイド電極には実質的に第2四族元素（例えばGe又はC）が含まれないシリサイド電極を形成することができる。従って、製造工程数を増加することなく、容易にシリサイド電極の抵抗値を減少させることができる。なお、エピタキシャル成長層の第2領域のすべてをシリサイド化し、シリサイド電極が直接エピタキシャル成長層の第1領域に接触してもよい。この場合のシリサイド電極は、同様に実質的に第2四族元素を含まない。

【0022】この発明の第8の特徴は、半導体集積回路の製造方法において、下記工程を備えたことである。

(1) MISFETのソース電極又はドレイン電極である主電極を形成する工程。

(2) 主電極上に種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成された第1領域と、主電極から離間されて第1四族元素で形成された第2領域とを有するエレベータード電極（エピタキシャル成長層）を形成する工程。

(3) エレベータード電極の第2領域の少なくとも一部をシリサイド化してシリサイド電極を形成する工程。このような半導体集積回路の製造方法においては、第7の特徴の半導体集積回路の製造方法で得られる効果と同様の効果を得ることができる。

【0023】この発明の第9の特徴は、半導体集積回路において、ゲート電極のゲート絶縁膜側の第1領域が種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成され、ゲート電極のゲート絶縁膜から離間された第2領域が第1四族元素で形成されたMISFETと、MISFETのソース電極又はドレイン電極である主電極上の第1領域が種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成され、主電極から離間された第2領域が第1四族元素で形成されたエピタキシャル成長層のエレベータード電極と、ゲート電極の第2領域に接して形成され、第2四族元素が実質的に含まれない第1シリサイド電極と、エレベータード電極の第2領域に接して形成され、第2四族元素が実質的に含まれない第2シリサイド電極と、を備えたことである。このように構成される半導体集積回路においては、第1、第2、第6の特徴の半導体

集積回路のそれぞれで得られる効果を組み合わせた効果を得ることができる。

【0024】この発明の第10の特徴は、半導体集積回路の製造方法において、下記工程を備えたことである。

(1) 種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素でゲート絶縁膜側に形成された第1領域と、第1四族元素でゲート絶縁膜から離間されて形成された第2領域とを有する、MISFETのゲート電極、MISFETのソース電極又はドレイン電極である主電極上に種類の異なる少なくとも第1四族元素及び第2四族元素で形成された第1領域と、主電極から離間されて第1四族元素で形成された第2領域とを有するエレベーター電極のそれぞれを形成する工程。

(2) ゲート電極の第2領域の少なくとも一部をシリサイド化して第1シリサイド電極を形成するとともに、エレベーター電極の第2領域の少なくとも一部をシリサイド化して第2シリサイド電極を形成する工程。このような半導体集積回路の製造方法においては、第4、第7の特徴の半導体集積回路の製造方法のそれぞれで得られる効果を組み合わせた効果を得ることができる。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照し説明する。

【0026】(第1の実施の形態)

<デバイス構造>図1は本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の相補型MISFET部分を示す断面構造図、図2は相補型MISFETの平面図である。図1及び図2に示すように、本実施の形態において半導体集積回路は単結晶Siからなる低不純物濃度のp型半導体基板1を主体に構成され、この半導体集積回路には論理回路や記憶回路を構築する相補型MISFETが搭載される。

【0027】相補型MISFETのnチャネルMISFETQnは、素子分離領域2で周囲を囲まれた領域内においてp型ウェル領域1Pの主面に形成される。このnチャネルMISFETQnはチャネル形成領域として使用されるp型ウェル領域1P、ゲート絶縁膜3、ゲート電極(制御電極)4N、ソース電極、ドレイン電極のそれぞれとして使用される一対の主電極5を備える。

【0028】p型ウェル領域1Pは、半導体基板1の主面に形成され、低い不純物濃度に設定される。素子分離領域2は、本実施の形態において、微細化に好適なSTI(Shallow Trench Isolation)で形成される。すなわち、素子分離領域2は、半導体基板1主面から深さ方向に向かって形成された溝と、この溝内に埋設され表面が平坦化された絶縁膜(例えば、 SiO_2 膜)で形成される。なお、素子分離領域2は、フィールド絶縁膜(Local Oxidation of Silicon)で形成してもよい。

【0029】図3(A)はnチャネルMISFETQnの詳細な要部断面構造図である。nチャネルMISFETQnのゲート絶縁膜3には例えば5nmの膜厚で形成された SiO_2 膜が

使用される。ゲート絶縁膜3は、必ずしも SiO_2 膜には限定されず、窒化膜やオキシナイトライド膜等を使用することができる。

【0030】本実施の形態において、ゲート電極4Nは、ゲート絶縁膜3側にこのゲート絶縁膜3に接して形成された下層の第1領域4gと、ゲート絶縁膜3とは離間され第1領域4g上に形成された上層の第2領域4nとを備えて形成される。第1領域4gは、種類が異なる少なくとも2種類の四族元素で形成された領域である。本実施の形態において、第1領域4gは、四族元素であるSiと、このSiとは異なる四族元素であるGeとを有する $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ で形成された領域である。第2領域4nは1種類の四族元素であるSiで形成された領域である。本実施の形態に係る相補型MISFETにおいてはデュアルゲート電極構造が採用されているので、nチャネルMISFETQnのゲート電極4Nにはn型不純物がドーピングされる。n型不純物にはAsが実用的に使用できる。

【0031】図1に示すように、nチャネルMISFETQnはエクステンデッドソース・ドレイン構造で形成され、主電極5は、高不純物濃度のn型半導体領域5Hと、この半導体領域5Hとチャネル形成領域との間に配設された低不純物濃度のn型半導体領域5Lとで形成される。半導体領域5Lはゲート電極4Nに対して自己整合で形成される。半導体領域5Hはゲート電極4N及びその側壁に配設されたゲート側壁7に対して自己整合で形成される。

【0032】このように構成されるnチャネルMISFETQnにおいては、低抵抗化を図るために、ゲート電極4Nにシリサイド電極8Gが、主電極5にシリサイド電極8Mがそれぞれ電気的に接続される。シリサイド電極8Gは、図1及び図3(A)に示すように、ゲート電極4Nの第2領域4n上に形成される。シリサイド電極8Gは、ゲート電極4Nの第2領域4nのシリサイド化、詳細には主電極5上のシリサイド電極8Mと同一製造工程で行われるシリサイド化により形成され、第2領域4nの少なくとも一部分をシリサイド化することにより形成される。本実施の形態において、シリサイド電極8Gは CoSi_2 膜で形成される。なお、シリサイド電極8Gには他に TiSi_2 膜が実用的に使用できる。シリサイド電極8Mは、図1に示すように、主電極5、詳細には高不純物濃度の半導体領域5H上に形成され、半導体領域5Hのシリサイド化(シリサイド化)により形成される。シリサイド電極8Mは、シリサイド電極8Gと基本的には同一製造工程で同一導電層に形成されるので、シリサイド電極8Gと同様に CoSi_2 膜で形成される。

【0033】一方、相補型MISFETのpチャネルMISFETQpは、図1及び図2に示すように、素子分離領域2で周囲を囲まれた領域内においてn型ウェル領域1Nの主面に形成される。このpチャネルMISFETQpはチャネル形成領域として使用されるn型ウェル領域1N、ゲート絶

縁膜3、ゲート電極(制御電極)4P、ソース電極、ドレイン電極のそれぞれとして使用される一対の主電極6を備える。

【0034】n型ウェル領域1Nは、p型ウェル領域1Pとは別の領域において半導体基板1の主面部に形成され、比較的低い不純物濃度に設定される。

【0035】図3(B)はpチャネルMISFETQpの詳細な要部断面構造図である。pチャネルMISFETQpのゲート絶縁膜3は、nチャネルMISFETQnのゲート電極3と同一製造工程で同一絶縁層に形成され、例えばSiO₂膜で形成される。

【0036】nチャネルMISFETQnのゲート電極4Nと同様にpチャネルMISFETQpのゲート電極4Pは、ゲート絶縁膜3側にこのゲート絶縁膜3に接して形成された下層の第1領域4gと、ゲート絶縁膜3とは離間され第1領域4g上に形成された上層の第2領域4pとを備えて形成される。第1領域4gは本実施の形態においてSi_{1-x}Ge_xで形成された領域であり、第2領域4pはSiで形成された領域である。デュアルゲート電極構造により、pチャネルMISFETQpのゲート電極4Pにはp型不純物がドーピングされる。p型不純物にはBが実用的に使用できる。

【0037】図1に示すように、pチャネルMISFETQpはエクステンデッドソース・ドレイン構造で形成され、主電極6は、高不純物濃度のp型半導体領域6Hと、この半導体領域6Hとチャネル形成領域との間に配設された低不純物濃度のp型半導体領域6Lとで形成される。半導体領域6Lはゲート電極4Pに対して自己整合で形成される。半導体領域6Hはゲート電極4P及びその側壁に配設されたゲート側壁7に対して自己整合で形成される。

【0038】このように構成されるpチャネルMISFETQpにおいては、nチャネルMISFETQnと同様に低抵抗化を図るために、ゲート電極4Pにシリサイド電極8Gが、主電極6にシリサイド電極8Mがそれぞれ電氣的に接続される。シリサイド電極8Gは、図1及び図3(A)に示すように、ゲート電極4Pの第2領域4p上に形成される。シリサイド電極8Gは、ゲート電極4Pの第2領域4pのシリサイド化により形成され、第2領域4pの少なくとも一部分をシリサイド化(シリサイド化)することにより形成される。シリサイド電極8Mは、図1に示すように、主電極6の高不純物濃度の半導体領域6H上に形成され、半導体領域6Hのシリサイド化(シリサイド化)により形成される。シリサイド電極8G、シリサイド電極8MはいずれもCoSi₂膜で形成される。

【0039】図4はゲート電極4N、4Pのそれぞれの表面(シリサイド化前の表面)からの深さ(μm)とSiGe組成比との関係を示す図である。本実施の形態において、ゲート電極4N、4Pはいずれも0.15μmの膜厚で

形成される。第1領域4gの厚さは0.05μmに設定され、第1領域4gのSiの組成比は0.84に、Geの組成比は0.16にそれぞれ設定される。すなわち、第1領域4gはSi_{0.86}Ge_{0.16}で形成される。第2領域4n、4pのそれぞれの厚さは0.10μmに設定され、第2領域4n、4pのそれぞれのSiの組成比は1.0に設定される。

【0040】図5はnチャネルMISFETQnのゲート電極4Nの表面(シリサイド化前の表面)からの深さ(μm)とSiGe組成比とAs濃度との関係を示す図である。同図5に示すn型不純物(ドナー)としてのAs濃度分布は、主電極5の高不純物濃度の半導体領域5Hを形成するためのAsをイオン注入により同一製造工程でゲート電極4Nにドーピングした後に、主電極5の活性化アニールを行った場合のAs濃度分布である。図中、実線は本実施の形態に係るSiGeで形成された第1領域4gを有するゲート電極4NのAs濃度を示し、破線はSiゲート電極のAs濃度を示す。Siゲート電極においては、Asの拡散速度が遅いために、ゲート電極表面側からドーピングされたAsがゲート絶縁膜近傍に十分に拡散されていないので、ゲート絶縁膜近傍のAs濃度が低下してしまう。このようなAs濃度の低下はゲートバイアス印加時にゲート絶縁膜近傍において空乏層化を生じ、MOSFETの閾値電圧の制御性を悪化させたり、MOSFETの動作速度を低下させてしまう。

【0041】これに対して、本実施の形態に係るnチャネルMISFETQnにおいては、ゲート電極4Nのゲート絶縁膜3近傍にSiGeで形成した第1領域4gを配設しており、Geの添加でゲート絶縁膜3近傍のAsの拡散速度を促進させることができるので、第1領域4gの全域にわたってすなわちゲート絶縁膜3近傍の全域にわたって十分なAs濃度を確保することができる。Si_{0.86}Ge_{0.16}中におけるAsの拡散係数は、1000℃の温度環境下において、Si中のAsの拡散係数に比べて2.5倍程度大きくなる。Geの組成比の上昇に伴うAsの拡散係数の増加に関しては、例えばA.Nylandsted, S.Yu. Shiryayev, P.Gaiduk, and V.S.Tishkov, Nucl. Instrum. Method. B120 161-164(1996)に述べられている。なお、図5に示すAs濃度分布はSi中とSi_{0.86}Ge_{0.16}中とのAs偏析係数を1とした場合を示す。従って、ゲート電極4Nにおいて、第1領域4gはSiゲート電極の場合に形成される空乏層化される領域よりも基本的に厚く形成される必要がある。Siゲート電極の場合、通常、5nmの膜厚のゲート絶縁膜に対してゲート電極中に0.5nmの厚さで空乏層が発生するので、第1領域4gの厚さは少なくとも2nm以上に設定されることが好ましい。さらに、第1領域4gのGeの組成比は十分にAsの拡散係数を高めるために0.1以上に設定されることが好ましい。

【0042】ゲート電極4Nの第2領域4nには図1及び図3(A)に示すようにシリサイド電極8Gが形成されており、第2領域4nは図4及び図5に示すように少

なくともその上側の一部をシリサイド電極8Gを形成するためのシリサイド化(又はサリサイド化)領域として使用する。すなわち、シリサイド化は第2領域4nの範囲内で行われ、シリサイド層8Gには抵抗値を増加してしまうGe(又はC)が実質的に含まれない。例えば40nmの膜厚のCoSi₂膜でシリサイド電極8Gを形成する場合、1nmの膜厚のCoに対して3.63nmの膜厚のSiが反応し、3.49nmの膜厚のCoSi₂膜が生成されるので、41.6nmの膜厚のSiが必要になる。本実施の形態に係るゲート電極4Nにおいては、シリサイド化によりSiが消費される41.6nm以上の膜厚を有する第2領域4nが第1領域4g上に形成される。例えば、Z.Wang, Y.L.Chen, H.Ying, R.J.Nemanich, and D.E.Sayers, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 320, 397-402(1994)にはSiを含むシリサイド層に比べてSi及びGeを含むシリサイド層において抵抗値が高くなることが述べられている。

【0043】図6はpチャネルMISFET Qpのゲート電極4Pの表面(サリサイド化前の表面)からの深さ(μm)とSiGe組成比とB濃度との関係を示す図である。同図6に示すp型不純物(アクセプター)としてのB濃度分布は、主電極6の高不純物濃度の半導体領域6Hを形成するためのBF₂をイオン注入により同一製造工程でゲート電極4Pにドーピングした後に、主電極6の活性化アニールを行った場合のB濃度分布である。図中、実線は本実施の形態に係るSiGeで形成された第1領域4gを有するゲート電極4PのB濃度を示し、破線はSiゲート電極のB濃度を示す。Siゲート電極においては、Bの拡散速度がAsの拡散速度に比べて速く、しかもドーピングされたBF₂のFがゲート絶縁膜中でのBの拡散を助長してしまうために、ゲート電極にドーピングされたBがチャネル形成領域に漏れてしまう。このようなB漏れはMISFETの閾値電圧の制御性を悪化させてしまう。

【0044】これに対して、本実施の形態に係るpチャネルMISFET Qpにおいては、ゲート電極4Pのゲート絶縁膜3近傍にSiGeで形成した第1領域4gを配設しており、Geの添加でゲート絶縁膜3近傍のBの拡散速度を減速させることができるので、ゲート電極4Pからゲート絶縁膜3を通してチャネル形成領域にB漏れ(Bのゲート絶縁膜3の突き抜け)を生じることがない。Si_{0.86}Ge_{0.14}中におけるBの拡散係数は、1000℃の温度環境下において、Si中のBの拡散係数に比べて0.5~0.1倍程度に小さくなるので、Bのゲート絶縁膜3中への拡散量を減少させ、チャネル形成領域へのBの突き抜けを効果的に抑制することができる。このGeの組成比の上昇に伴うBの拡散係数の減少に関しては、例えばP.Kuo, J.L.Hoyt, and J.F.Gibbons, Appl. Phys. Lett. 66 580-582(1995)に述べられている。なお、図6に示すB濃度分布はSi中とSi_{0.86}Ge_{0.14}中とのB偏析係数を1とした場合を示す。従って、ゲート電極4Pにおいて、第1領域4gはSiゲート電極の場合に発生するB漏れを防止する厚さで形成さ

れる必要があり、本実施の形態において第1領域4gの厚さは少なくとも2nm以上に設定され、第1領域4gのGeの組成比は0.1以上に設定される。

【0045】前述のnチャネルMISFET Qnのゲート電極4Nと同様に、ゲート電極4Pの第2領域4pには図1及び図3(B)に示すようにシリサイド電極8Gが形成されており、第2領域4pは図4及び図6に示すように少なくともその上側の一部をシリサイド電極8Gを形成するためのシリサイド化領域として使用する。すなわち、シリサイド化は第2領域4pの範囲内で行われ、シリサイド層8Gには抵抗値を増加してしまうGe(又はC)が実質的に含まれない。ゲート電極4Pにおいては、シリサイド化によりSiが消費される41.6nm以上の膜厚を有する第2領域4pが第1領域4g上に形成される。

【0046】図1に示すように、nチャネルMISFET Qnの主電極5には、シリサイド電極8M、コンタクトプラグ電極(埋込み電極)12のそれぞれを介在して配線15が電気的に接続される。同様に、pチャネルMISFET Qpの主電極6には、シリサイド電極8M、コンタクトプラグ電極12のそれぞれを介在して配線15が電気的に接続される。

【0047】コンタクトプラグ電極12は、nチャネルMISFET Qn、pチャネルMISFET Qpのそれぞれを覆う層間絶縁膜10に形成された接続孔11内に埋設され、nチャネルMISFET Qn、pチャネルMISFET Qpのそれぞれにおいて同一導電層に配設され同一導電性材料で形成される。本実施の形態において、コンタクトプラグ電極12は、Ti膜12A及びこのTi膜12A上に積層したW膜12Bの複合膜で形成される。層間絶縁膜10は例えばSi₃N₄膜10A及びBPSG膜10Bの複合膜で形成される。

【0048】配線15はコンタクトプラグ電極12を覆う層間絶縁膜13上に形成され、この層間絶縁膜13に形成された接続孔14を通して配線15とコンタクトプラグ電極12との間が接続される。配線15は、nチャネルMISFET Qn、pチャネルMISFET Qpのそれぞれにおいて同一導電層に配設され同一導電性材料で形成される。本実施の形態において、配線15はTi膜、TiN膜、AlCu膜、Ti膜、TiN膜のそれぞれを順次重ね合わせた複合膜で形成される。層間絶縁膜13は例えばSi₃N₄膜13A及びTEDS膜13Bの複合膜で形成される。

【0049】なお、図1には示していないが、図2に接続孔11の領域を示すように、nチャネルMISFET Qnのゲート電極4N、pチャネルMISFET Qpのゲート電極4Pのそれぞれにも前述のシリサイド層8G、コンタクトプラグ電極12のそれぞれを介在して配線15が電気的に接続される。

【0050】<製造プロセス>次に、前述のMISFETを備えた半導体集積回路の製造プロセスを説明する。図7乃至図19は製造プロセスを各製造工程毎に示す半導体集

積回路の工程断面図である。

【0051】(1) まず、単結晶Siからなる低不純物濃度のp型半導体基板1を準備する。そして、nチャネルMISFET Qnの形成領域において半導体基板1の主面部にp型ウェル領域1Pを形成し、pチャネルMISFET Qpの形成領域において半導体基板1の主面部にn型ウェル領域1Nを形成する(図7参照)。

【0052】(2) MISFET間を含む素子形成領域間において半導体基板1に溝を形成し、この溝に絶縁体を埋設することにより素子分離領域2を形成する(図7参照)。溝は好ましくは異方性エッチングで半導体基板1表面から深さ方向にエッチングを行うことにより形成する。絶縁体にはCVD法又はスパッタリング法で成膜したSiO₂膜を実用的に使用することができ、成膜後にエッチバック法、ケミカルメカニカルポリッシング(CMP)法等によりSiO₂膜の表面には平坦化処理がなされる。

【0053】なお、素子分離領域2はnチャネルMISFET Qn、pチャネルMISFET Qp等の半導体素子を形成した後に形成してもよい。また、素子分離領域2はフィールド酸化膜を主体として形成してもよい。

【0054】(3) 図7に示すように、nチャネルMISFET Qn、pチャネルMISFET Qpのそれぞれの形成領域において、半導体基板1の主面上にゲート絶縁膜3を形成する。本実施の形態においてゲート絶縁膜3には酸化性雰囲気中で半導体基板1表面を加熱する熱酸化法で形成したSiO₂膜が使用される。ゲート絶縁膜3の膜厚は、必要とする閾値電圧値により適宜設定できるが、本実施の形態においては2.5nmで形成される。なお、詳細な説明は省略するが、ゲート絶縁膜3の形成前に閾値電圧を調節するためのドーパントをチャネル形成領域にドーピングしてあることが好ましい。

【0055】(4) 図8に示すように、ゲート絶縁膜3上を含む半導体基板1全面にゲート電極形成層40を形成する。本実施の形態において、ゲート電極形成層40はシラン(Si₂H₆)ガスとゲルマン(GeH₄)ガスとの混合ガスをソースガスとするCVD法で成膜される。このCVD法においては、Si₂H₆ガスとGeH₄ガスのそれぞれのガス分圧及び成膜温度を適宜制御することにより、ゲート電極形成層40は、ゲート絶縁膜3からの距離に応じてGeの組成比を任意に変化させ、Si_{1-x}Ge_xからなる第1領域4g、Siからなる第2領域4mのそれぞれを有するゲート電極形成層40を形成することができる。この時点において第2領域4mはn型不純物、p型不純物のいずれもドーピングされていない状態にある。

【0056】第1領域4gは、Si₂H₆ガスの流量が5sccm、GeH₄ガスの流量が1sccm、成膜圧力が1.3×10²Pa、成膜温度が500℃、成膜時間が10分間の条件において成膜される。この条件下において、第1領域4gは前述の図4に示すようにGeの組成比が0.16のSi_{0.86}Ge_{0.16}で形成することができ、第1領域4gの厚さは0.05μmにな

る。第2領域4mは、第1領域4gに引き続き連続的に成膜され、Si₂H₆ガスの流量、成膜圧力、成膜温度のそれぞれの条件はいずれも変えずにGeH₄ガスの流量を0sccm、成膜時間を28分間にそれぞれ調節する。この条件下において、第2領域4mはGeの組成比が0でSiの組成比が1.0すなわち実質的にGeを含まないSiを成膜することができる。第2領域4mは0.10μmの膜厚で成膜される。本実施の形態においては、GeH₄ガスの流量が1sccmから急減に0sccmに変化させているので、図4に示すようにGeの組成比はゲート絶縁膜3から0.05μmの距離において急激に減少する。第2領域4mにおいては、少なくともシリサイド化(salicide)によりシリサイド電極8Gの形成に消費される部分が少なくともGeの組成比を0に設定してあればよい。

【0057】なお、第1領域4gはSiH₄ガスとGe₂H₆ガスとの混合ガスをソースガスとするCVD法で形成することもできる。さらに、第1領域4gはMBE(Molecular Beam Epitaxy)法で形成することもできる。

【0058】(5) 図9に示すように、ゲート電極形成層40にパターンニングを行い、nチャネルMISFET Qn、pチャネルMISFET Qpのそれぞれの形成領域にゲート電極4を形成する。ゲート電極4のゲート幅寸法及びゲート長寸法は製作するMISFETサイズや電気特性に応じて任意に決定される。パターンニングは、フォトリソグラフィ技術で形成されたマスクを使用し、RIE等の異方性エッチングで行われる。

【0059】(6) 図10に示すように、ゲート電極4の表面を覆う絶縁膜4Aを形成する。絶縁膜4Aには例えば熱酸化法で成膜されたSiO₂膜やCVD法で成膜されたSiO₂膜が実用的に使用できる。

【0060】(7) 次に、エクステンデッドソース・ドレインプロセスを開始する。まず、図11に示すように、nチャネルMISFET Qnの形成領域においてソース電極及びドレイン電極として使用する一対の主電極5を形成するために、低不純物濃度のn型半導体領域5Lを形成する。半導体領域5Lは、ゲート電極4、素子分離領域2及びpチャネルMISFET Qpの形成領域を覆うマスク20を耐不純物注入マスクとして使用し、イオン注入法によりp型ウェル領域1Pの主面部にn型不純物をドーピングすることにより形成される。マスク20にはフォトリソグラフィ技術で形成されたレジストマスクが使用される。n型不純物には拡散速度が遅くシャロー化に好適なAsが使用される。Asに対してイオン注入法における注入エネルギー量は10~50keV、ドーズ量は10¹⁴~10¹⁵atoms/cm²に設定することが一般的であるが、本実施の形態においてAsの注入エネルギー量は15keV、ドーズ量は10¹⁴atoms/cm²の条件が使用される。

【0061】(8) 図12に示すように、pチャネルMISFET Qpの形成領域においてソース電極及びドレイン電極として使用する一対の主電極6を形成するために、低

不純物濃度のp型半導体領域6Lを形成する。半導体領域6Lは、ゲート電極4、素子分離領域2及びnチャネルMISFETQnの形成領域を覆うマスク21を耐不純物注入マスクとして使用し、イオン注入法によりn型ウェル領域1Nの主面部にp型不純物をドーピングすることにより形成される。マスク21にはマスク20と同様にフォトリソグラフィ技術で形成されたレジストマスクが使用される。p型不純物にはイオン注入分布を浅くすることができシャロー化に好適なBF₂が使用される。本実施の形態においてBF₂の注入エネルギー量は10keV、ドーズ量は10¹⁴atoms/cm²の条件が使用される。また、p型不純物にはBイオンやB分子イオンが実用的に使用できる。

【0062】なお、前述のAs、BF₂のそれぞれのイオン注入後には、イオン注入に伴う半導体基板1表面のダメージの回復や不純物の活性化を目的としてアニールを行うことが好ましい。

【0063】(9)図13に示すように、nチャネルMISFETQn、pチャネルMISFETQpのそれぞれの形成領域においてゲート電極4の側壁に絶縁膜4Aを介してゲート側壁7を形成する。ゲート側壁7は本実施の形態においてSi₃N₄膜で形成される。ゲート側壁7は、例えば低圧CVD法、スパッタ法等の成膜技術で半導体基板1上の全面に形成されたSi₃N₄膜に成膜した膜厚分に相当するRIE等の異方性エッチングを行うことにより形成される。

【0064】(10)図14に示すように、nチャネルMISFETQnの形成領域において一対の主電極5を形成するために、高低不純物濃度のn型半導体領域5Hを形成する。半導体領域5Hは、ゲート電極4、ゲート側壁7、素子分離領域2及びpチャネルMISFETQpの形成領域を覆うマスク22を耐不純物注入マスクとして使用し、イオン注入法によりp型ウェル領域1Pの主面部にn型不純物をドーピングすることにより形成される。本実施の形態に係る相補型MISFETはデュアルゲート電極構造を採用するので、n型不純物はゲート電極4にもドーピングされ、それぞれn型不純物がドーピングされた第1領域4g及び第2領域4nを有するゲート電極4Nが形成される。マスク22にはフォトリソグラフィ技術で形成されたレジストマスクが使用される。n型不純物には拡散速度が遅くシャロー化に好適なAsが使用される。本実施の形態においてAsの注入エネルギー量は50keV、ドーズ量は3×10¹⁵atoms/cm²の条件が使用される。

【0065】(11)図15に示すように、pチャネルMISFETQpの形成領域において一対の主電極6を形成するために、高低不純物濃度のp型半導体領域6Hを形成する。半導体領域6Hは、ゲート電極4、ゲート側壁7、素子分離領域2及びnチャネルMISFETQnの形成領域を覆うマスク23を耐不純物注入マスクとして使用し、イオン注入法によりn型ウェル領域1Nの主面部にp型不純物をドーピングすることにより形成される。デュアルゲート電極構造を採用するので、p型不純物はゲ-

ート電極4にもドーピングされ、それぞれp型不純物がドーピングされた第1領域4g及び第2領域4pを有するゲート電極4Pが形成される。マスク23にはフォトリソグラフィ技術で形成されたレジストマスクが使用される。p型不純物にはイオン注入分布を浅くすることができシャロー化に好適なBF₂が使用される。本実施の形態においてBF₂の注入エネルギー量は40keV、ドーズ量は3×10¹⁵atoms/cm²の条件が使用される。

【0066】(12)アニールを行い、イオン注入された不純物の活性化を行う。本実施の形態において、アニールは、RTA (Rapid Thermal Annealing) 法で行われ、N₂ガス雰囲気中、1000℃の温度で10秒間行われる。このアニールにより、半導体領域5L及び5Hからなる主電極5が形成され、nチャネルMISFETQnがほぼ完成する。本実施の形態において、nチャネルMISFETQnのチャネル形成領域のアクセプター濃度は10¹⁷~10¹⁸atoms/cm³程度、主電極5のドナー濃度は10¹⁹~10²¹atoms/cm³程度、主電極5の接合深さは50~200nm程度で形成される。nチャネルMISFETQnのゲート電極4Nはデュアルゲート電極構造でn型に設定され、nチャネルMISFETQnは表面チャネル型になるので、nチャネルMISFETQnは短チャネル効果の抑制及び動作速度の高速化に好適で微細化を実現することができる。同様に、アニールにより、半導体領域6L及び6Hからなる主電極6が形成され、pチャネルMISFETQpがほぼ完成する。pチャネルMISFETQpのチャネル形成領域のドナー濃度は10¹⁷~10¹⁸atoms/cm³程度、主電極6のアクセプター濃度は10¹⁹~10²¹atoms/cm³程度、主電極5の接合深さは50~200nm程度で形成される。pチャネルMISFETQpのゲート電極4Pはデュアルゲート電極構造でp型に設定され、pチャネルMISFETQpは表面チャネル型になるので、pチャネルMISFETQpは短チャネル効果の抑制及び動作速度の高速化に好適で微細化を実現することができる。

【0067】(13)図16に示すように、nチャネルMISFETQnのゲート電極4N上にシリサイド電極8G、主電極5上にシリサイド電極8M、pチャネルMISFETQpのゲート電極4P上にシリサイド電極8G、主電極6上にシリサイド電極8Mのそれぞれを同一製造工程で形成する。本実施の形態においてシリサイド電極8G、8Mのそれぞれはシリサイド化によるCoSi₂膜で形成される。CoSi₂膜は、まずゲート電極4N上、4P上、主電極5上、6上のそれぞれに存在する絶縁膜を除去し、ゲート電極4Nの第2領域4n、ゲート電極4Pの第2領域4p、主電極5の半導体領域5H、主電極6の半導体領域6Hのそれぞれの表面を露出させる。引き続き、半導体基板1上の全面にCo膜、キャップ層としてのTiN膜を順次成膜する。Co膜、TiN膜はいずれも例えばスパッタリング法で成膜し、Co膜は例えば11.5nmの膜厚で形成される。このCo膜は非酸化性雰囲気中、500℃の温度で60秒間のアニールを行った後、TiN膜及び未反応のCo膜を

除去し、引き続き750℃の温度で30秒間のアニールを行う2段階アニール法によりシリサイド化され、40nmの膜厚を有するシリサイド電極8G、8Mのそれぞれを形成することができる。2段階アニール法は、CoSiからCoSi₂への相転移を目的として、さらに1回目のアニール直後に未反応のCo膜を除去してゲート側壁7上におけるシリサイド電極8Gと8Mとの間のブリッジングの防止を目的として行われる。いずれのアニールもRTA法で行われ、前述の未反応のCo膜の除去には例えば硫酸と過酸化水素水の混合溶液が実用的に使用できる。

【0068】前述のように、nチャネルMISFETQnにおいて、シリサイド電極8GはGeを含まないSiで形成された第2領域4nの一部を第2領域4nの範囲内でシリサイド化することにより形成されるので、シリサイド電極8GにはGeが含まれない。同様に、pチャネルMISFETQpにおいて、シリサイド電極8GはGeを含まないSiで形成された第2領域4pの一部を第2領域4pの範囲内でシリサイド化することにより形成されるので、シリサイド電極8GにはGeが含まれない。従って、シリサイド電極8Gの抵抗値を減少させることができる。しかも、相補型MISFETにおいては、nチャネルMISFETQnの第1領域4g及び第2領域4nを有するゲート電極4N、pチャネルMISFETQpの第1領域4g及び第2領域4pを有するゲート電極4Pのそれぞれが同一製造工程で形成することができる。

【0069】(14)図17に示すように、半導体基板1上の全面に層間絶縁膜10を形成する。層間絶縁膜10は、本実施の形態において、スパッタリング法で成膜されたSi₃N₄膜10A、CVD法で成膜されたBPSG膜10Bのそれぞれを順次積層することにより形成される。層間絶縁膜10の表面はケミカルメカニカルポリッシング法により平坦化される。

【0070】(15)nチャネルMISFETQnのシリサイド電極8G上、8M上、pチャネルMISFETQpのシリサイド電極8G上、8M上において層間絶縁膜10に接続孔11を形成し、図18に示すように接続孔11内にコンタクトプラグ電極12を埋設する。コンタクトプラグ電極12は、本実施の形態においてスパッタリング法で成膜されたTi膜12A、選択CVD法で成膜されたW膜12Bのそれぞれを順次積層し、W膜12Bの表面側からケミカルメカニカルポリッシングで研磨することにより接続孔11内に埋設することができる。

【0071】(16)図19に示すように、層間絶縁膜10上の全面に層間絶縁膜13を形成する。層間絶縁膜13は、本実施の形態において、スパッタリング法で成膜されたSi₃N₄膜13A、プラズマCVD法で成膜されたTEOS膜13Bのそれぞれを順次積層することにより形成される。

【0072】(17)コンタクトプラグ電極12上において層間絶縁膜13に接続孔14を形成し(図1参

照)、前述の図1に示すように、層間絶縁膜13上に接続孔14を通してコンタクトプラグ電極12に電気的に接続される配線15を形成する。本実施の形態において、配線15はスパッタリング法によりTi膜、TiN膜、AlCu膜、Ti膜、TiN膜のそれぞれを順次積層した複合膜で形成される。また、配線15はダマシンプロセスで形成されたダマシン配線を使用してもよい。これら一連の製造工程が終了すると、本実施の形態に係る半導体集積回路が完成する。

【0073】このように構成される本実施の形態に係る半導体集積回路においては、pチャネルMISFETQpのゲート電極4Pのゲート絶縁膜3側に配設された第1領域4gに第2四族元素であるGeが含まれる(又はCが含まれ、第1領域4gはSiGe又はSiCで形成される)ので、第1領域4g中のp型不純物であるBの拡散速度を減少させ、Bのチャネル形成領域側への漏れを防止することができる。従って、pチャネルMISFETQpの閾値電圧を安定化させることができ、半導体集積回路の電気的信頼性を向上させることができる。さらに、nチャネルMISFETQnのゲート電極4Nのゲート絶縁膜3側に配設された第1領域4gに第2四族元素であるGeが含まれる(同様に又はCが含まれ、第1領域4gはSiGe又はSiCで形成される)ので、第1領域4g中のn型不純物であるAsの拡散速度を促進し、ゲート電極4Nの全域にわたって特にゲート絶縁膜3近傍でAsの不純物濃度を十分に確保することができる。従って、ゲート電極4N内の空乏層化を防止することができ、nチャネルMISFETQnの閾値電圧を安定化させることができるので、半導体集積回路の電気的信頼性を向上させることができる。特に、デュアルゲート電極構造の相補型MISFETを備えた半導体集積回路においては、第1及び第2四族元素を含む同一構造のゲート電極4(下層の第1領域4g及び上層の第2領域4mで形成される。)の使用でpチャネルMISFETQp、nチャネルMISFETQnのそれぞれの閾値電圧を同時に安定化させることができる。この結果、MISFETの微細化を実現することができ、半導体集積回路の集積度を向上させることができる。

【0074】さらに、半導体集積回路においては、pチャネルMISFETQpのゲート電極4Pの実質的に第2四族元素であるGeを含まない第2領域4p、nチャネルMISFETQnのゲート電極4Nの実質的に第2四族元素であるGeを含まない第2領域4nのそれぞれをシリサイド化(サリサイド化)することによりシリサイド電極8Gを形成しているのので、シリサイド電極8Gには第2四族元素が含まれない。従って、シリサイド電極8Gの抵抗値を減少させることができ、pチャネルMISFETQp、nチャネルMISFETQnのそれぞれのスイッチング動作速度の高速化並びに低電源電圧化を実現することができ、半導体集積回路の回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる。

【0075】さらに、半導体集積回路の製造方法においては、ソースガスの調節だけで第2四族元素を実質的に含まない第2領域4 pを有するpチャネルMISFET Q pのゲート電極4 P、第2領域4 nを有するnチャネルMISFET Q nのゲート電極4 Nのそれぞれを形成し、第2領域4 p、4 nのそれぞれの少なくとも一部をシリサイド化するだけで第2四族元素が実質的に含まれないシリサイド電極8 Gを形成することができる。従って、製造工程数を増加することなく、容易にシリサイド電極8 Gの抵抗値を減少させることができる。

【0076】さらに、半導体集積回路の製造方法においては、第1領域4 g及び第2領域4 mを有するゲート電極4を相補型MISFETのそれぞれにおいて同一製造工程で形成し、デュアルゲート電極構造の相補型MISFETを形成することができるので、ゲート電極を相補型MISFETのそれぞれで別々に形成する場合に比べて製造工程数を減少させることができる。

【0077】(第2の実施の形態) 本実施の形態は、MISFETのゲート電極の四族元素の組成比をゲート絶縁膜からの距離に応じて変化させた構造例を説明するものである。図20、図21はそれぞれ本発明の第2の実施の形態に係るnチャネルMISFET Q nのゲート電極4 N、pチャネルMISFET Q pのゲート電極4 Pのそれぞれの表面(シリサイド化前の表面)からの深さ(μm)とSiGe組成比との関係を示す図である。

【0078】図20に示すゲート電極4 N、4 Pは第1の実施の形態に係る半導体集積回路と同様にいずれも0.15 μm の膜厚で形成される。第1領域4 gの厚さは0.05 μm に設定される。第1領域4 gのSiの組成比はゲート絶縁膜3側から所定距離まで一定に維持され、さらにゲート絶縁膜3から離れるに従い連続的にかつ緩やかに増加する。ゲート絶縁膜3側においてSiの組成比は0.60、第2領域4 n又は4 p側においてSiの組成比は1.0に設定される。このSiの組成比の変化に従い、第1領域4 gのGeの組成比はゲート絶縁膜3側から離れるに従い連続的にかつ緩やかに減少し、ゲート絶縁膜3側においてGeの組成比は0.40、第2領域4 n又は4 p側においてGeの組成比は0に設定される。このようなSiGeの組成比が連続的に変化する第1領域4 gは、CVD法における GeH_4 ガスの流量を徐々に減少させることにより容易に形成することができる。

【0079】図21に示すゲート電極4 N、4 Pは第1の実施の形態に係る半導体集積回路と同様にいずれも0.15 μm の膜厚で形成される。第1領域4 gの厚さは0.05 μm に設定される。第1領域4 gのSiの組成比はゲート絶縁膜3側から所定距離まで一定に維持され、さらにゲート絶縁膜3から離れると段階的に増加する。ゲート絶縁膜3側においてSiの組成比は0.60、段階的に増加して最終的には第2領域4 n又は4 p側においてSiの組成比は1.0に設定される。このSiの組成比の変化に従い、第

1領域4 gのGeの組成比はゲート絶縁膜3側から離れるに従い段階的に減少し、ゲート絶縁膜3側においてGeの組成比は0.40、第2領域4 n又は4 p側においてGeの組成比は0に設定される。このようなSiGeの組成比が段階的に変化する第1領域4 gは、CVD法における GeH_4 ガスの流量を段階的に減少させることにより容易に形成することができる。

【0080】なお、本実施の形態においては、ゲート絶縁膜3の直上にSiGeの第1領域4 gを形成しているが、本発明においては、ゲート絶縁膜3と第1領域4 gとの間に第1領域4 gの厚さよりも非常に薄い膜厚、詳細には1nm以下の膜厚でGeを実質的に含まないSi層又はSiを実質的に含まないGe層が形成されていてもよい。このSi層又はGe層が実際に存在していても、ゲート電極4 PにドーピングされたBの拡散は上層の第1領域4 g中で抑制することができ、ゲート電極4 NにドーピングされたAsの拡散は第1領域4 g中で促進させることができる。さらに、ゲート絶縁膜3が SiO_2 膜で形成される場合、Si層は第1領域4 gに含まれたGeによる SiO_2 膜の膜質の劣化を防ぐことができる。さらに、Ge層が形成される場合には、このGe層はゲート電極4 PにドーピングされたBの拡散を抑制することができる。Ge層は特にゲート絶縁膜3を窒化膜で形成する場合に有効である。

【0081】このように構成される半導体集積回路においては、前述の第1の実施の形態に係る半導体集積回路で得られる効果と同様の効果を得ることができる。

【0082】(第3の実施の形態) 本実施の形態は、MISFETのゲート電極の他の構造例を説明するものである。図22(A)、図22(B)、図22(C)、図22(D)、図22(E)はいずれも本発明の第3の実施の形態に係る半導体集積回路のnチャネルMISFET Q nの詳細な要部断面構造図である。

【0083】図22(A)に示すnチャネルMISFET Q nはシリサイド電極8 Gを形成した後の構造であり、ゲート電極4 NはSiGeからなる第1領域4 gだけで形成され、このゲート電極4 N上にはシリサイド電極8 Gが形成される。シリサイド電極8 Gの形成前(シリサイド化前)においては破線で示すようにゲート電極4 NにSiからなる第2領域4 nが形成されており、シリサイド電極8 Gはこの第2領域4 nを丁度すべて消費することにより形成される。従って、シリサイド電極8 Gには実質的にGeが含まれないので、第1の実施の形態に係る半導体集積回路と同様にシリサイド電極8 Gの抵抗値を減少させることができる。

【0084】図22(B)に示すnチャネルMISFET Q nは同様にシリサイド電極8 Gを形成した後の構造である。ゲート電極4 Nは、SiGeからなる第1領域4 gと、この第1領域4 g上の CoSi_2Ge_2 からなる3元化合物(多元化合物)の第2領域4 tとで形成される。シリサイド電極8 Gはゲート電極4 Nの第2領域4 t上に形成

される。第2領域4tは、シリサイド化前は前述の第1の実施の形態に係る半導体集積回路のnチャネルMISFET Qnと同様にSiからなる第2領域4nであったものが、シリサイド化により下層の第1領域4gのSiGe、上層に形成されたCoのそれぞれと化合し生成されたものである。CoSi₂Ge₂からなる3元化合物は化学的に安定しており、シリサイド電極8GにはGeが実質的に含まれないので、第1の実施の形態に係る半導体集積回路と同様にシリサイド電極8Gの抵抗値を減少させることができる。

【0085】図22(C)に示すnチャネルMISFET Qnは、SiGeからなる第1領域4g、Siからなる第2領域4nのそれぞれを交互に複数積層してゲート電極4Nが形成される。ゲート電極4Nは、基本的にはゲート絶縁膜3側(最下層)に第1領域4gが配設され、ゲート絶縁膜3から離間されシリサイド化される領域(最上層)に第2領域4nが配設されていればよい。シリサイド電極8Gは最上層の第2領域4nの一部をシリサイド化することにより形成されるので、シリサイド電極8GにはGeが実質的に含まれず、シリサイド電極8Gの抵抗値を減少させることができる。

【0086】図22(D)に示すnチャネルMISFET Qnは、図22(A)に示すnチャネルMISFET Qnと図22(C)に示すnチャネルMISFET Qnとを組み合わせたものである。すなわち、nチャネルMISFET Qnのゲート電極4NはSiGeからなる第1領域4g、Siからなる第2領域4n、SiGeからなる第1領域4gのそれぞれを順次積層して形成され、シリサイド電極8Gは最上層の第1領域4g上に形成される。シリサイド化前においてはゲート電極4Nの最上層はSiからなる第2領域4nであり、シリサイド化によりこの最上層の第2領域4nを丁度すべて消費してシリサイド電極8Gが形成される。従って、シリサイド電極8GにはGeが実質的に含まれないので、シリサイド電極8Gの抵抗値を減少させることができる。

【0087】図22(E)に示すnチャネルMISFET Qnは、図22(B)に示すnチャネルMISFET Qnと図22(C)に示すnチャネルMISFET Qnとを組み合わせたものである。すなわち、nチャネルMISFET Qnのゲート電極4NはSiGeからなる第1領域4g、Siからなる第2領域4n、SiGeからなる第1領域4g、CoSi₂Ge₂からなる3元化合物の第2領域4tのそれぞれを順次積層して形成され、シリサイド電極8Gは最上層の第2領域4t上に形成される。このシリサイド電極8GにはGeが実質的に含まれないので、シリサイド電極8Gの抵抗値を減少させることができる。

【0088】なお、図22(A)、図22(B)、図22(C)、図22(D)、図22(E)のそれぞれに示すゲート電極構造はpチャネルMISFET Qpにおいても同一構造になる。さらに、第2四族元素であるGeに代えて

Cが使用できる。

【0089】本実施の形態に係る半導体集積回路においては、前述の第1の実施の形態に係る半導体集積回路で得られる効果と同様の効果を得ることができる。

【0090】(第4の実施の形態)本実施の形態は、エレベータッド電極を有するMISFETを備えた半導体集積回路に本発明を適用した例を説明するものである。

【0091】<デバイス構造>図23は本発明の第4の実施の形態に係る半導体集積回路の相補型MISFET部分を示す断面構造図である。図23に示すように、本実施の形態に係る半導体集積回路は、前述の第1の実施の形態に係る半導体集積回路と同様に、単結晶Siからなる低不純物濃度のp型半導体基板1を主体に構成され、この半導体集積回路には論理回路や記憶回路を構築する相補型MISFETが搭載される。

【0092】相補型MISFETの基本的な構造は第1の実施の形態に係る半導体集積回路に搭載された相補型MISFETの構造と同一である。すなわち、相補型MISFETのnチャネルMISFET Qnは、素子分離領域2で周囲を囲まれた領域内においてp型ウェル領域1Pの主面に形成され、チャネル形成領域として使用されるp型ウェル領域1P、ゲート絶縁膜3、ゲート電極4N、ソース電極、ドレイン電極のそれぞれとして使用される一対の主電極5を備える。

【0093】p型ウェル領域1Pは、半導体基板1の主面部に形成され、低い不純物濃度に設定される。素子分離領域2は、第1の実施の形態に係る半導体集積回路と同様に、微細化に好適なSTIで形成される。

【0094】nチャネルMISFET Qnのゲート絶縁膜3には例えば5nmの膜厚で形成されたSiO₂膜が使用される。ゲート電極4Nは、前述の第1の実施の形態に係る半導体集積回路のゲート電極4Nの第1領域4gに相当する領域で、種類が異なる少なくとも2種類の四族元素で全域を形成した領域である。本実施の形態において、ゲート電極4Nは、四族元素であるSiと、このSiとは異なる四族元素であるGeとを有するSi_{1-x}Ge_xで形成される。相補型MISFETはデュアルゲート電極構造を採用しているので、nチャネルMISFET Qnのゲート電極4Nにはn型不純物がドーピングされる。n型不純物にはAsが実用的に使用できる。

【0095】nチャネルMISFET Qnはエクステンデッドソース・ドレイン構造で形成され、主電極5は、高不純物濃度のn型半導体領域5Hと、この半導体領域5Hとチャネル形成領域との間に配設された低不純物濃度のn型半導体領域5Lとで形成される。半導体領域5Lはゲート電極4Nに対して自己整合で形成される。半導体領域5Hはゲート電極4N及びその側壁に配設されたゲート側壁7に対して自己整合で形成される。

【0096】このように構成されるnチャネルMISFET Qnにおいては、ゲート電極4Nにエレベータッド電極

(エレベーターゲート電極) 4 E が電気的に接続され、このエレベーターゲート電極 4 E にはシリサイド電極 8 G が電気的に接続されるとともに、シャロー化並びに低抵抗化を図るために主電極 5 にエレベーターゲート電極 (エレベーターソース電極又はエレベータードレイン電極) 5 E が電気的に接続され、このエレベーターゲート電極 5 E にはシリサイド電極 8 M が電気的に接続される。

【0097】ゲート電極 4 N 上のエレベーターゲート電極 4 E は、前述の第 1 の実施の形態に係る半導体集積回路のゲート電極 4 N と同様の構造で形成され、ゲート電極 4 N 側にこのゲート電極 4 N に接して形成された下層の第 1 領域 4 g と、ゲート電極 4 N とは離間され第 1 領域 4 g 上に形成された上層の第 2 領域 4 n とを備えて形成される。第 1 領域 4 g、第 2 領域 4 n はいずれもエピタキシャル成長層で形成される。第 1 領域 4 g は、種類が異なる少なくとも 2 種類の四族元素で形成された領域である。本実施の形態において、第 1 領域 4 g は、四族元素である Si と、この Si とは異なる四族元素である Ge とを有する $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ で形成された領域である。第 2 領域 4 n は 1 種類の四族元素である Si で形成された領域である。デュアルゲート電極構造が採用されているので、エレベーターゲート電極 4 E には n 型不純物である As がドーピングされる。

【0098】シリサイド電極 8 G は、エレベーターゲート電極 4 E の第 2 領域 4 n 上に形成される。本実施の形態において、シリサイド電極 8 G は第 2 領域 4 n の上面及び側面に形成される。シリサイド電極 8 G は、エレベーターゲート電極 4 E の第 2 領域 4 n のシリサイド化、詳細には主電極 5 上のシリサイド電極 8 M と同一製造工程で行われるシリサイド化により形成され、第 2 領域 4 n の少なくとも一部分をシリサイド化することにより形成される。本実施の形態において、シリサイド電極 8 G は CoSi_2 膜で形成される。なお、シリサイド電極 8 G には他に TiSi_2 膜が実用的に使用できる。

【0099】主電極 5 上のエレベーターゲート電極 5 E は、エレベーターゲート電極 4 E と同様に、主電極 5 側にこの主電極 5 に接して形成された下層の第 1 領域 5 g と、主電極 5 とは離間され第 1 領域 5 g 上に形成された上層の第 2 領域 5 n とを備えて形成される。第 1 領域 5 g、第 2 領域 5 n はいずれもエピタキシャル成長層で形成される。第 1 領域 5 g はエレベーターゲート電極 4 E の第 1 領域 4 g と同様に本実施の形態において $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ で形成され、第 2 領域 5 n は Si で形成される。エレベーターゲート電極 5 E には n 型不純物である As がドーピングされる。

【0100】シリサイド電極 8 M は、シリサイド電極 8 G と同様にエレベーターゲート電極 5 E 上に形成され、エレベーターゲート電極 5 E の第 2 領域 5 n の少なくとも一部のシリサイド化 (シリサイド化) により形成される。シリサイド電極 8 M は、シリサイド電極 8 G と基本的には同一製造工程で同一導電層に形成されるので、シリサイド

電極 8 G と同様に CoSi_2 膜で形成される。

【0101】一方、相補型 MISFET の p チャネル MISFET Q_p は、図 23 に示すように、素子分離領域 2 で周囲を囲まれた領域内において n 型ウェル領域 1 N の主面に形成される。この p チャネル MISFET Q_p はチャネル形成領域として使用される n 型ウェル領域 1 N、ゲート絶縁膜 3、ゲート電極 4 P、ソース電極、ドレイン電極のそれぞれとして使用される一対の主電極 6 を備える。

【0102】p チャネル MISFET Q_p のゲート絶縁膜 3 は、n チャネル MISFET Q_n のゲート電極 3 と同一製造工程で同一絶縁層に形成され、例えば SiO_2 膜で形成される。

【0103】ゲート電極 4 P はゲート電極 4 N と同様に $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ で形成され、相補型 MISFET にはデュアルゲート電極構造が採用されるので、p チャネル MISFET Q_p のゲート電極 4 P には p 型不純物がドーピングされる。p 型不純物には BF_3 が実用的に使用できる。

【0104】p チャネル MISFET Q_p はエクステンデッドソース・ドレイン構造で形成され、主電極 6 は、高不純物濃度の p 型半導体領域 6 H と、この半導体領域 6 H とチャネル形成領域との間に配設された低不純物濃度の p 型半導体領域 6 L とで形成される。半導体領域 6 L はゲート電極 4 P に対して自己整合で形成される。半導体領域 6 H はゲート電極 4 P 及びその側壁に配設されたゲート側壁 7 に対して自己整合で形成される。

【0105】このように構成される p チャネル MISFET Q_p においては、ゲート電極 4 P にエレベーターゲート電極 (エレベーターゲート電極) 4 E が電気的に接続され、このエレベーターゲート電極 4 E にはシリサイド電極 8 G が電気的に接続されるとともに、シャロー化並びに低抵抗化を図るために主電極 6 にエレベーターゲート電極 (エレベーターソース電極又はエレベータードレイン電極) 6 E が電気的に接続され、このエレベーターゲート電極 6 E にはシリサイド電極 8 M が電気的に接続される。

【0106】ゲート電極 4 P 上のエレベーターゲート電極 4 E は、ゲート電極 4 N 上のエレベーターゲート電極 4 E と同様の構造で形成され、ゲート電極 4 P 側にこのゲート電極 4 P に接して形成された下層の第 1 領域 4 g と、ゲート電極 4 P とは離間され第 1 領域 4 g 上に形成された上層の第 2 領域 4 p とを備えて形成される。第 1 領域 4 g、第 2 領域 4 p はいずれもエピタキシャル成長層で形成される。第 1 領域 4 g は本実施の形態において $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ で形成され、第 2 領域 4 p は Si で形成される。デュアルゲート電極構造が採用されているので、エレベーターゲート電極 4 E には p 型不純物である BF_3 がドーピングされる。

【0107】シリサイド電極 8 G は、エレベーターゲート電極 4 E の第 2 領域 4 p 上に形成される。本実施の形態において、シリサイド電極 8 G は第 2 領域 4 p の上面及び側面に形成される。シリサイド電極 8 G は、エレベーター

ッド電極4Eの第2領域4pのシリサイド化(サリサイド化)により形成され、第2領域4pの少なくとも一部分をシリサイド化することにより形成される。本実施の形態において、シリサイド電極8Gは、nチャネルMISFETQnのシリサイド電極8Gと同一製造工程で同一導電層に形成されるので、 CoSi_2 膜で形成される。

【0108】主電極6上のエレベータッド電極6Eは、エレベータッド電極5Eと同様に、主電極6側にこの主電極6に接して形成された下層の第1領域6gと、主電極6とは離間され第1領域6g上に形成された上層の第2領域6pとを備えて形成される。第1領域6g、第2領域6pはいずれもエピタキヤル成長層で形成される。第1領域6gはエレベータッド電極5Eの第1領域5gと同様に本実施の形態において $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ で形成され、第2領域6pはSiで形成される。エレベータッド電極6Eにはp型不純物である BF_2 がドーピングされる。

【0109】シリサイド電極8Mは、シリサイド電極8Gと同様にエレベータッド電極6E上に形成され、エレベータッド電極6Eの第2領域6pの少なくとも一部のシリサイド化(サリサイド化)により形成される。シリサイド電極8Mは、シリサイド電極8Gと基本的には同一製造工程で同一導電層に形成されるので、シリサイド電極8Gと同様に CoSi_2 膜で形成される。

【0110】図24、図25はいずれもエレベータッド電極5E、6Eのそれぞれの表面(サリサイド化前の表面)からの深さ(nm)とSiGe組成比との関係を示す図である。図24に示すエレベータッド電極5E、6Eのそれぞれは51.6nmの膜厚で形成される。第1領域5g、6gはそれぞれ10nmの膜厚で形成され、第1領域5g、6gのそれぞれのSiの組成比は0.84に、Geの組成比は0.16に設定される。すなわち、第1領域5g、6gはいずれも $\text{Si}_{0.86}\text{Ge}_{0.16}$ で形成される。Geの組成比は0.1以上に設定されることが好ましい。第2領域5n、6pのそれぞれの厚さは、前述の第1の実施の形態に係る半導体集積回路のシリサイド電極8Mと同様に40nmの膜厚の CoSi_2 膜で形成されるので、シリサイド化での消費を考慮して41.6nmに設定される。図24に示す第2領域5n、6pは、いずれもすべてのSiをシリサイド電極8Mに消費されるものとして膜厚を設定しているが、Si領域を残しておく場合には41.6nmを越える膜厚で形成する。

【0111】また、図25に示すエレベータッド電極5E、6Eのそれぞれは、前述の第2の実施の形態に係る半導体集積回路のゲート電極4N、4Pのそれぞれと同様に、第1領域5gのGeの組成比を主電極5からの距離に応じて連続的に減少させ、第1領域6gのGeの組成比を主電極6からの距離に応じて連続的に減少させた場合を示す。すなわち、第1領域5gにおいては、主電極5から厚さ3nmまでのGeの組成比が0.4に設定され、さらに主電極5から離れるに従いGeの組成比は連続的に減少される。第1領域5gのSiの組成比はこのGeの減少に従い

増加する。同様に、第1領域6gにおいては、主電極6から厚さ3nmまでのGeの組成比が0.4に設定され、さらに主電極6から離れるに従いGeの組成比は連続的に減少される。第1領域6gのSiの組成比はこのGeの減少に従い増加する。

【0112】なお、詳細に説明しないが、エレベータッド電極5E及び6Eを形成する工程と同一製造工程においてnチャネルMISFETQnのゲート電極4N上にエレベータッド電極4Eが、pチャネルMISFETQpのゲート電極4P上にエレベータッド電極4Eがそれぞれ形成されるので、このエレベータッド電極4Eの構造はエレベータッド電極5E、6Eのそれぞれの構造と実質的に同一になる。

【0113】エレベータッド電極5Eは基本的に主電極5の接合深さを浅くしてシャロー化を実現することができ、同様にエレベータッド電極6Eは主電極6の接合深さを浅くしてシャロー化を実現することができる。図24又は図25に示すように、特にpチャネルMISFETQpのエレベータッド電極6Eの主電極6側に $\text{Si}_{0.86}\text{Ge}_{0.16}$ からなる第1領域6gを配設することにより、主電極6の高不純物濃度のp型半導体領域6Hを形成するためにエレベータッド電極6Eにドーピングされるp型不純物例えばBの拡散速度を減少させることができるので、より一層主電極6のシャロー化を実現することができる。第1領域6g中、すなわち $\text{Si}_{0.86}\text{Ge}_{0.16}$ 中におけるBの拡散係数は、第1の実施の形態に係る半導体集積回路において説明したように、1000°Cの温度環境下において、Si中のBの拡散係数に比べて0.5~0.1倍程度に小さくなる。

【0114】さらに、SiGe中でのBの活性濃度はSiでのBの活性濃度に比べて高くなり、エレベータッド電極6E中のホール濃度がSi中のホール濃度に比べて大きくなるので、主電極6のp型半導体領域6Hの拡散層抵抗をより一層減少させることができる。

【0115】さらに、エレベータッド電極5Eの第2領域5n、エレベータッド電極6Eの第2領域6pはいずれもSiで形成されているので、シリサイド化(サリサイド化)により形成されたシリサイド電極8Mには実質的にGeが含まれない。従って、前述の第1の実施の形態に係る半導体集積回路で説明したように、シリサイド電極8Mの抵抗値を減少させることができる。

【0116】さらに、SiGeの場合にはエネルギーギャップがSiのエネルギーギャップに比べて高くなるが、これは主にSiGeの伝導帯のレベルがSiの伝導帯のレベルに比べて高くなるためである。本実施の形態においてエレベータッド電極5Eの第1領域5g、エレベータッド電極6Eの第1領域6gのそれぞれには $\text{Si}_{0.86}\text{Ge}_{0.16}$ が使用され、第2領域5n、6pのそれぞれのSiがすべて消費されシリサイド電極8Mが形成された場合には、第1領域5g、6gのそれぞれの $\text{Si}_{0.86}\text{Ge}_{0.16}$ とシリサイド電極

8 M の CoSi_2 とのショットキー接合が形成される。このショットキー接合の障壁高さは Si と CoSi_2 とのショットキー接合の障壁高さに比べて 0.1~0.2 eV 程度小さくなる。従って、エレベータッド電極 5 E とシリサイド電極 8 M との間の接続抵抗、エレベータッド電極 6 E とシリサイド電極 8 M との接続抵抗のいずれも減少させることができる。

【0117】そして、nチャネルMISFET Q_n のゲート電極 4 N、pチャネルMISFET Q_p のゲート電極 4 P のそれぞれにはエレベータッド電極 4 E が形成され、このエレベータッド電極 4 E は前述の第 1 の実施の形態に係る半導体集積回路の nチャネルMISFET Q_n のゲート電極 4 N、pチャネルMISFET Q_p のゲート電極 4 P のそれぞれと実質的に同一構造で形成されるので、第 1 の実施の形態に係る半導体集積回路で得られる効果と同様の効果を得ることができる。すなわち、nチャネルMISFET Q_n においては、ゲート電極 4 N の空乏層化を防止することができ、閾値電圧の安定化を実現することができる。特に、エレベータッド電極構造を採用する nチャネルMISFET Q_n においては、ゲート電極 4 N 上にエレベータッド電極 4 E が形成され、デュアルゲート電極構造を形成するための n 型不純物の実効的な拡散距離が長くなってしまふ。本実施の形態においてはゲート電極 4 N 自体を SiGe で形成しているので、ゲート絶縁膜 3 近傍を含むゲート電極 4 N 全域に充分に n 型不純物を拡散させることができる。pチャネルMISFET Q_p においては、ゲート電極 4 P からチャネル形成領域への p 型不純物の漏れを防止することができ、閾値電圧の安定化を実現することができる。

【0118】図 23 に示すように、nチャネルMISFET Q_n の主電極 5 には、エレベータッド電極 4 E、シリサイド電極 8 M、コンタクトプラグ電極 12 のそれぞれを介在して配線 15 が電気的に接続される。同様に、pチャネルMISFET Q_p の主電極 6 には、エレベータッド電極 6 E、シリサイド電極 8 M、コンタクトプラグ電極 12 のそれぞれを介在して配線 15 が電気的に接続される。

【0119】なお、図 23 には示していないが、nチャネルMISFET Q_n のゲート電極 4 N にはエレベータッド電極 4 E、シリサイド層 8 G、コンタクトプラグ電極 12 のそれぞれを介在して配線 15 が電気的に接続される。pチャネルMISFET Q_p のゲート電極 4 P にはエレベータッド電極 4 E、シリサイド層 8 G、コンタクトプラグ電極 12 のそれぞれを介在して配線 15 が電気的に接続される。

【0120】<製造プロセス>次に、前述のMISFETを備えた半導体集積回路の製造プロセスを説明する。図 26 乃至図 32 は製造プロセスを各製造工程毎に示す半導体集積回路の工程断面図である。

【0121】(1) まず、単結晶 Si からなる低不純物濃度の p 型半導体基板 1 を準備する。そして、nチャネルMISFET Q_n の形成領域において半導体基板 1 の主面に p 型ウェル領域 1 P を形成し、pチャネルMISFET Q_p の形成領域において半導体基板 1 の主面に n 型ウェル領域 1 N を形成する (図 26 参照)。

【0122】(2) 前述の第 1 の実施の形態に係る半導体集積回路の製造プロセスと同様に、MISFET間を含む素子形成領域間に素子分離領域 2 を形成する (図 26 参照)。

【0123】(3) 図 26 に示すように、nチャネルMISFET Q_n 、pチャネルMISFET Q_p のそれぞれの形成領域において、半導体基板 1 の主面にゲート絶縁膜 3 を形成する。本実施の形態においてゲート絶縁膜 3 には酸化性雰囲気中で半導体基板 1 表面を加熱する熱酸化法で形成した SiO_2 膜が使用される。ゲート絶縁膜 3 の膜厚は、必要とする閾値電圧値により適宜設定できるが、本実施の形態においては 5 nm で形成される。なお、詳細な説明は省略するが、ゲート絶縁膜 3 の形成前に閾値電圧を調節するためのドーパントをチャネル形成領域にドーピングしてあることが好ましい。

【0124】(4) 図 27 に示すように、nチャネルMISFET Q_n 、pチャネルMISFET Q_p のそれぞれの形成領域においてゲート絶縁膜 3 上にゲート電極 4 を形成する。本実施の形態において、ゲート電極 4 は Si_2H_6 ガスと GeH_4 ガスとの混合ガスをソースガスとする CVD 法で成膜される。この CVD 法においては、 Si_2H_6 ガスと GeH_4 ガスのそれぞれのガス分圧及び成膜温度を適正に制御することにより、ゲート電極 4 はゲート絶縁膜 3 からの距離に応じて Ge の組成比を任意に変化させることができる。ゲート電極 4 は例えば 0.15 μm の膜厚で形成され、本実施の形態においてゲート電極 4 上にはエレベータッド電極 4 E が形成されるので、ゲート電極 4 の全域が $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ で形成される。第 1 の実施の形態に係る半導体集積回路におけるゲート電極 4 N、4 P のそれぞれの第 1 領域 4 g と同様に、ゲート電極 4 は、 Si_2H_6 ガスの流量が 5 sccm、 GeH_4 ガスの流量が 1 sccm、成膜圧力が $1.3 \times 10^2 \text{ Pa}$ 、成膜温度が 500°C、成膜時間が 38 分間の条件において成膜され、この条件下においてゲート電極 4 は Si の組成比を 0.84、 Ge の組成比を 0.16 とした $\text{Si}_{0.84}\text{Ge}_{0.16}$ で形成される。ゲート電極 4 は、成膜後にフォトリソグラフィ技術で形成されたマスクを使用し、RIE 等の異方性エッチングでパターンニングされる。この時点において、ゲート電極 4 には n 型不純物、p 型不純物のいずれもドーピングされていない状態にある。

【0125】なお、ゲート電極 4 は、第 1 の実施の形態に係る半導体集積回路の製造プロセスで説明したように、 SiH_4 ガスと Ge_2H_6 ガスとの混合ガスをソースガスとする CVD 法で形成することもできる。さらに、ゲート電極 4 は MBE 法で形成することもできる。さらに、ゲート電極 4 は、第 1 の実施の形態に係る半導体集積回路のゲート電極 4 N、4 P のそれぞれと同一構造、すなわち Si

Geからなる第1領域4 gとSiからなる第2領域4 mとで形成することもできる。

【0126】ゲート電極4の形成後にはゲート電極4の表面を覆う絶縁膜4 Aが形成される。絶縁膜4 Aには例えば熱酸化法で成膜された SiO_2 膜が実用的に使用できる。

【0127】(5)次に、エクステンデッドソース・ドレインプロセスを開始する。まず、図28に示すように、nチャネルMISFETQ nの形成領域においてソース電極及びドレイン電極として使用する一対の主電極5を形成するために、低不純物濃度のn型半導体領域5 Lを形成し、引き続きpチャネルMISFETQ pの形成領域においてソース電極及びドレイン電極として使用する一対の主電極6を形成するために、低不純物濃度のp型半導体領域6 Lを形成する。

【0128】半導体領域5 Lは、ゲート電極4、素子分離領域2及びpチャネルMISFETQ pの形成領域を覆うマスク(前述の図11参照)を耐不純物注入マスクとして使用し、イオン注入法によりp型ウェル領域1 Pの主面部にn型不純物をドーピングすることにより形成される。n型不純物には拡散速度が遅くシャロー化に好適なAsが使用される。Asに対してイオン注入法における注入エネルギー量は10~50keV、ドーズ量は 10^{14} ~ 10^{15} atoms/cm²に設定することが一般的であるが、本実施の形態においてAsの注入エネルギー量は15keV、ドーズ量は 10^{14} atoms/cm²の条件が使用される。

【0129】半導体領域6 Lは、ゲート電極4、素子分離領域2及びnチャネルMISFETQ nの形成領域を覆うマスク(前述の図12参照)を耐不純物注入マスクとして使用し、イオン注入法によりn型ウェル領域1 Nの主面部にp型不純物をドーピングすることにより形成される。p型不純物にはイオン注入分布を浅くすることができシャロー化に好適な BF_2 が使用される。本実施の形態において BF_2 の注入エネルギー量は10keV、ドーズ量は 10^{14} atoms/cm²の条件が使用される。また、p型不純物にはBイオンやB分子イオンが実用的に使用できる。

【0130】前述のAs、 BF_2 のそれぞれのイオン注入後には、イオン注入に伴う半導体基板1表面のダメージの回復や不純物の活性化を目的としてアニールを行うことが好ましい。

【0131】(6)図29に示すように、nチャネルMISFETQ n、pチャネルMISFETQ pのそれぞれの形成領域においてゲート電極4の側壁に絶縁膜4 Aを介してゲート側壁7を形成する。ゲート側壁7は本実施の形態において Si_3N_4 膜で形成される。

【0132】(7)図30に示すように、エレベーター電極を形成するために、nチャネルMISFETQ nの形成領域において半導体領域5 L上に第1領域5 g、第2領域5 mのそれぞれを順次積層し、ゲート電極4上に第1領域4 g、第2領域4 mのそれぞれを順次積層すると

もに、pチャネルMISFETQ pの形成領域において半導体領域6 L上に第1領域6 g、第2領域6 mのそれぞれを順次積層し、ゲート電極4上に第1領域4 g、第2領域4 mのそれぞれを順次積層する。これらの第1領域4 g、5 g、6 g、第2領域4 m、5 m、6 mのそれぞれは本実施の形態においてMBE法で成膜したエピタキシャル成長層で形成される。第1領域4 g、5 g、6 gのそれぞれは、 Si_2H_6 ガスと GeH_4 ガスとの混合ガスをソースガスとして使用し、前述の図24に示すように $\text{Si}_{0.86}\text{Ge}_{0.14}$ を10nmの膜厚で成長させることにより形成される。勿論、 Si_2H_6 ガスと GeH_4 ガスのそれぞれのガス分圧及び成長温度を適宜制御することにより、第1領域4 g、5 g、6 gのそれぞれは図25に示すように下地表面からの距離に応じてGeの組成比を任意に変化させることができる。第2領域4 m、5 m、6 mのそれぞれは、第1領域4 g、5 g、6 gのそれぞれの成膜後に引き続き連続的に成膜され、41.6nm又はそれ以上の膜厚のSiで形成される。第2領域4 m、5 m、6 mのそれぞれは GeH_4 ガスの流量を0にし引き続き Si_2H_6 ガスをソースガスとしてエピタキシャル成長を行うことにより形成することができる。

【0133】なお、本実施の形態に係るエレベーター電極はエピタキシャル成長層させた単結晶のSiGe膜及びSi膜で形成されるが、基本的には単結晶に限定されず、多結晶や非晶質でエレベーター電極を形成してもよい。また、エレベーター電極のSiGeに代えて、異なる2種類の四族元素で形成されたSiCや異なる3種類の四族元素で形成されたSiGeCを使用することができる。

【0134】(8)図31に示すように、nチャネルMISFETQ nの形成領域において一対の主電極5を形成するために、高低不純物濃度のn型半導体領域5 Hを形成するとともに、pチャネルMISFETQ pの形成領域において一対の主電極6を形成するために、高低不純物濃度のp型半導体領域6 Hを形成する。

【0135】n型の半導体領域5 Hは、主にnチャネルMISFETQ nの形成領域においてエレベーター電極5 Eとして形成される第1領域5 g及び第2領域5 mにその内部にピークを持つようにn型不純物がイオン注入によりドーピングされ、このドーピングされたn型不純物をp型ウェル領域1 P表面部分に拡散させることにより形成される。本実施の形態に係る相補型MISFETはデュアルゲート電極構造を採用するので、n型不純物はゲート電極4上のエレベーター電極4 Eとして形成される第1領域4 g及び第2領域4 mにもドーピングされ、このドーピングされたn型不純物はゲート電極4にも拡散され、n型のゲート電極4 Nが形成される。さらに、第1領域4 g、第2領域4 mのそれぞれにもn型不純物がドーピングされこのn型不純物が活性化されるので、エレベーター電極4 Eが形成され、同様に第1領域5 g、第2領域5 mのそれぞれにもn型不純物がドーピングされこのn

型不純物が活性化されるので、エレベータッド電極5Eが形成される。n型不純物には拡散速度が遅くシャロー化に好適なAsが使用され、本実施の形態においてAsの注入エネルギー量は50keV、ドーズ量は 3×10^{15} atoms/cm²の条件が使用される。

【0136】p型の半導体領域6Hは、主にpチャネルMISFETQpの形成領域においてエレベータッド電極6Eとして形成される第1領域6g及び第2領域6mにその内部にピークを持つようにp型不純物がイオン注入によりドーピングされ、このドーピングされたp型不純物をn型ウェル領域1N表面部分に拡散させることにより形成される。同様にデュアルゲート電極構造の採用により、p型不純物はゲート電極4上のエレベータッド電極4Eとして形成される第1領域4g及び第2領域4mにもドーピングされ、このドーピングされたp型不純物はゲート電極4にも拡散され、p型のゲート電極4Pが形成される。さらに、第1領域4g、第2領域4mのそれぞれにもp型不純物がドーピングされこのp型不純物が活性化されるので、エレベータッド電極4Eが形成され、同様に第1領域6g、第2領域6mのそれぞれにもp型不純物がドーピングされこのp型不純物が活性化されるので、エレベータッド電極6Eが形成される。p型不純物にはイオン注入分布を浅くすることができシャロー化に好適なBF₃が使用され、本実施の形態においてBF₃の注入エネルギー量は40keV、ドーズ量は 3×10^{15} atoms/cm²の条件が使用される。

【0137】n型不純物、p型不純物の拡散並びに活性化はRTA等のアニールで行われる。アニールは、例えばN₂ガス雰囲気中、1000℃の温度で10秒間行われる。

【0138】同図31に示す工程が終了した時点で、半導体領域5L及び5Hからなる主電極5が形成され、nチャネルMISFETQnがほぼ完成する。本実施の形態において、nチャネルMISFETQnのチャネル形成領域のアクセプター濃度は $10^{17} \sim 10^{18}$ atoms/cm³程度、主電極5のドナー濃度は $10^{19} \sim 10^{21}$ atoms/cm³程度、主電極5の接合深さは50～200nm程度で形成される。nチャネルMISFETQnのゲート電極4Nはデュアルゲート電極構造でn型に設定され、nチャネルMISFETQnは表面チャネル型になるので、nチャネルMISFETQnは短チャネル効果の抑制及び動作速度の高速化に好適で微細化を実現することができる。同様に、半導体領域6L及び6Hからなる主電極6が形成され、pチャネルMISFETQpがほぼ完成する。pチャネルMISFETQpのチャネル形成領域のドナー濃度は $10^{17} \sim 10^{18}$ atoms/cm³程度、主電極6のアクセプター濃度は $10^{19} \sim 10^{21}$ atoms/cm³程度、主電極5の接合深さは50～200nm程度で形成される。pチャネルMISFETQpのゲート電極4Pはデュアルゲート電極構造でp型に設定され、pチャネルMISFETQpは表面チャネル型になるので、pチャネルMISFETQpは短チャネル効果の抑制及び動作速度の高速化に好適で微細化を実現することが

できる。

【0139】なお、n型不純物、p型不純物のそれぞれのイオン注入に際してはエレベータッド電極4E、5E、6Eのそれぞれの表面のダメージを防止した汚染を防止するためにバッファ膜として例えばSiO₂膜を形成することが好ましい。

【0140】(9)図32に示すように、nチャネルMISFETQnのエレベータッド電極4E上にシリサイド電極8G、エレベータッド電極5E上にシリサイド電極8M、pチャネルMISFETQpのエレベータッド電極4E上にシリサイド電極8G、エレベータッド電極6E上にシリサイド電極8Mのそれぞれを同一製造工程で形成する。本実施の形態においてシリサイド電極8G、8Mのそれぞれはシリサイド化によるCoSi₂膜で形成される。CoSi₂膜は、まずエレベータッド電極4E、5E、6Eのそれぞれの表面を露出させた後、これらの表面上含む半導体基板1上の全面にCo膜、キャップ層としてのTiN膜を順次成膜する。Co膜、TiN膜はいずれも例えばスパッタリング法で成膜し、Co膜は例えば11.5nmの膜厚で形成される。このCo膜は非酸化性雰囲気中、500℃の温度で60秒間のアニールを行った後、未反応のCo膜を除去し、引き続き750℃の温度で30秒間のアニールを行う2段階アニール法によりシリサイド化され、40nmの膜厚を有するシリサイド電極8G、8Mのそれぞれを形成することができる。前述の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の製造プロセスで説明したように、アニールにはRTA法が使用され、前述の未反応のCo膜の除去には例えば硫酸と過酸化水素水との混合溶液が使用される。

【0141】nチャネルMISFETQnにおいて、シリサイド電極8Gはエレベータッド電極4EのGeを含まないSiで形成された第2領域4nの少なくとも一部を第2領域4nの範囲内でシリサイド化することにより形成されるので、シリサイド電極8GにはGeが含まれない。さらに、シリサイド電極8Mはエレベータッド電極5EのGeを含まないSiで形成された第2領域5nの少なくとも一部を第2領域5nの範囲内でシリサイド化することにより形成されるので、シリサイド電極8MにはGeが含まれない。同様に、pチャネルMISFETQpにおいて、シリサイド電極8Gはエレベータッド電極4EのGeを含まないSiで形成された第2領域4pの少なくとも一部を第2領域4pの範囲内でシリサイド化することにより形成されるので、シリサイド電極8GにはGeが含まれない。さらに、シリサイド電極8Mはエレベータッド電極6EのGeを含まないSiで形成された第2領域6pの少なくとも一部を第2領域6pの範囲内でシリサイド化することにより形成されるので、シリサイド電極8MにはGeが含まれない。

【0142】図32には(図23も同様)エレベータッド電極4E、5E、6Eのそれぞれの第2領域4n、4p、5n、6pの一部を残した状態を示しているが、エ

エレベータッド電極4Eとシリサイド電極8Gとの間の接続抵抗、エレベータッド電極5Eとシリサイド電極8Mとの接続抵抗、エレベータッド電極6Eとシリサイド電極8Mとの接続抵抗をいずれも減少させる場合には、前述の図24及び図25で説明したように、第2領域4n、4p、5n、6pのそれぞれはすべてシリサイド化されることが好ましい。

【0143】(10) 前述の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の製造プロセスと同様に、層間絶縁膜10、接続孔11、コンタクトプラグ電極12、層間絶縁膜13、接続孔14、配線15のそれぞれを順次形成することにより、前述の図23に示す本実施の形態に係る半導体集積回路が完成する。

【0144】このように構成される半導体集積回路においては、前述の第1の実施の形態に係る半導体集積回路で得られる効果に加えて、エピタキシャル成長層すなわちpチャネルMISFETQpのエレベータッド電極6Eの第1領域6gに含まれる第2四族元素であるGeによりエレベータッド電極6E内にドーピングされたp型不純物であるBの拡散速度を減少させることができる。従って、エレベータッド電極6Eから拡散により形成される主電極6の高不純物濃度のp型半導体領域6Hの接合深さを浅くすることができるので、主電極(ソース電極及びドレイン電極)6のシャロー化を実現することができ、半導体集積回路の集積度を向上することができる。

【0145】さらに、エレベータッド電極6E内でのp型不純物の活性濃度がSi中に比べて高くなり、エレベータッド電極6E内のキャリア濃度を高くすることができる。従って、エレベータッド電極6Eの低抵抗化並びに低電源電圧化を実現し、半導体集積回路の回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる。

【0146】さらに、シリサイド電極8G、8Mのそれぞれに第2四族元素であるGeが実質的に含まれないことでシリサイド電極8G、8Mのそれぞれの抵抗値を減少させることができ、nチャネルMISFETQn、pチャネルMISFETQpのそれぞれのスイッチング動作速度の高速化並びに低電源電圧化を実現することができる。従って、半導体集積回路の回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる。

【0147】さらに、主電極5上のエレベータッド電極5Eの第2領域5nをすべて消費しシリサイド電極8Mを形成した場合には、エレベータッド電極5EのSiGeからなる第1領域5gとシリサイド電極8Mとの間のエネルギーギャップを減少させ、ショットキー障壁の高さを減少させることができるので、エレベータッド電極5Eとシリサイド電極8Mとの間の接触抵抗値を減少させることができる。同様に、主電極6上のエレベータッド電極6Eの第2領域6pをすべて消費しシリサイド電極8Mを形成した場合には、エレベータッド電極6EのSiGeからなる第1領域5gとシリサイド電極8Mとの間のエネ

ルギギャップを減少させ、ショットキー障壁の高さを減少させることができるので、エレベータッド電極6Eとシリサイド電極8Mとの間の接触抵抗値を減少させることができる。従って、半導体集積回路の回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる。

【0148】(第5の実施の形態) 本実施の形態は、前述の第4の実施の形態に係るエレベータッド電極を有するMISFETを備えた半導体集積回路の変形例を説明するものである。

【0149】<デバイス構造>図33は本発明の第5の実施の形態に係る半導体集積回路の相補型MISFET部分を示す断面構造図である。図33に示す本実施の形態に係る半導体集積回路のnチャネルMISFETQnにおいては、前述の第4の実施の形態に係る半導体集積回路のnチャネルMISFETQnと基本的には同一構造で形成されるが、ゲート電極4N上のエレベータッド電極4Eの上面にのみシリサイド電極8Gが形成される。エレベータッド電極4Eの側面、特に第1領域4gの側面はゲート側壁7により覆われる。同様に、pチャネルMISFETQpにおいては、ゲート電極4P上のエレベータッド電極4Eの上面にのみシリサイド電極8Gが形成され、エレベータッド電極4Eの側面はゲート側壁7により覆われる。すなわち、シリサイド電極8Gは、エレベータッド電極4EのSiGeで形成された第1領域4gをシリサイド化することなく、第2領域4n又は4pのSiの消費のみで形成される。従って、シリサイド電極8GにはGeが実質的に含まれないので、シリサイド電極8Gの抵抗値を減少させることができる。

【0150】<製造プロセス>次に、前述のMISFETを備えた半導体集積回路の製造プロセスを説明する。図34乃至図41は製造プロセスを各製造工程毎に示す半導体集積回路の工程断面図である。

【0151】(1) まず、単結晶Siからなる低不純物濃度のp型半導体基板1を準備する。そして、nチャネルMISFETQnの形成領域において半導体基板1の主面部にp型ウェル領域1Pを形成し、pチャネルMISFETQpの形成領域において半導体基板1の主面部にn型ウェル領域1Nを形成する(図34参照)。

【0152】(2) 前述の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の製造プロセスと同様に、MISFET間を含む素子形成領域間に素子分離領域2を形成する(図34参照)。

【0153】(3) 図34に示すように、nチャネルMISFETQn、pチャネルMISFETQpのそれぞれの形成領域において、半導体基板1の主面上にゲート絶縁膜3を形成する。本実施の形態においてゲート絶縁膜3には酸化性雰囲気中で半導体基板1表面を加熱する熱酸化法で形成したSiO₂膜が使用される。ゲート絶縁膜3の膜厚は、必要とする閾値電圧値により適宜設定できるが、本実施の形態においては5nmで形成される。なお、詳細な説明は

省略するが、ゲート絶縁膜3の形成前に閾値電圧を調節するためのドーパントをチャネル形成領域にドーピングしてあることが好ましい。

【0154】(4) 図35に示すように、nチャネルMISFETQn、pチャネルMISFETQpのそれぞれの形成領域においてゲート絶縁膜3上にゲート電極4を形成するとともに、ゲート電極4上にダミー電極膜25を形成する。

【0155】本実施の形態において、ゲート電極4は、前述の第4の実施の形態に係る半導体集積回路の製造プロセスと同様に、 Si_2H_6 ガスと GeH_4 ガスとの混合ガスをソースガスとするCVD法で成膜される。このCVD法においては、 Si_2H_6 ガスと GeH_4 ガスのそれぞれのガス分圧及び成膜温度を適宜制御することにより、ゲート電極4はゲート絶縁膜3からの距離に応じてGeの組成比を任意に変化させることができる。ゲート電極4は例えば $0.15\mu\text{m}$ の膜厚で形成され、本実施の形態においてゲート電極4上にはエレベータッド電極4Eが形成されるので、ゲート電極4の全域が $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ で形成される。ゲート電極4は、 Si_2H_6 ガスの流量が 5sccm 、 GeH_4 ガスの流量が 1sccm 、成膜圧力が $1.3 \times 10^2\text{Pa}$ 、成膜温度が 500°C 、成膜時間が38分間の条件において成膜され、この条件下においてゲート電極4はSiの組成比を0.84、Geの組成比を0.16とした $\text{Si}_{0.84}\text{Ge}_{0.16}$ で形成される。ゲート電極4は、ダミー電極膜25とともにフォトリソグラフィ技術で形成されたマスクを使用し、RIE等の異方性エッチングでパターンニングされる。この時点において、ゲート電極4はn型不純物、p型不純物のいずれもドーピングされていない状態にある。

【0156】ダミー電極膜25は、エレベータッド電極4Eの側面をゲート側壁7で被覆できるように、エレベータッド電極4Eと同等の膜厚で形成される。本実施の形態において、ダミー電極膜25にはCVD法、スパッタリング法等で成膜された Si_3N_4 膜が使用され、この Si_3N_4 膜は 50nm の膜厚で形成される。ダミー電極膜25には Si_3N_4 膜に限定されず SiO_2 膜を使用することができるダミー電極膜25は基本的にはゲート側壁7に対して選択的な除去ができる材料で形成されていけばよい。

【0157】ゲート電極4の形成後にはゲート電極4の表面を覆う絶縁膜4Aが形成される。絶縁膜4Aには例えば熱酸化法で成膜された SiO_2 膜が実用的に使用できる。

【0158】(5) 次に、エクステンデッドソース・ドレインプロセスを開始する。まず、図36に示すように、nチャネルMISFETQnの形成領域においてソース電極及びドレイン電極として使用する一対の主電極5を形成するために、低不純物濃度のn型半導体領域5Lを形成し、引き続きpチャネルMISFETQpの形成領域においてソース電極及びドレイン電極として使用する一対の主電極6を形成するために、低不純物濃度のp型半導体領域6Lを形成する。

【0159】半導体領域5Lは、ダミー電極膜25、素子分離領域2及びpチャネルMISFETQpの形成領域を覆うマスク（前述の図11参照）を耐不純物注入マスクとして使用し、イオン注入法によりp型ウェル領域1Pの主面部にn型不純物をドーピングすることにより形成される。n型不純物には拡散速度が遅くシャロー化に好適なAsが使用される。Asに対してイオン注入法における注入エネルギー量は $10\sim 50\text{keV}$ 、ドーズ量は $10^{14}\sim 10^{15}\text{atoms/cm}^2$ に設定することが一般的であるが、本実施の形態においてAsの注入エネルギー量は 15keV 、ドーズ量は 10^{14}atoms/cm^2 の条件が使用される。

【0160】半導体領域6Lは、ダミー電極膜25、素子分離領域2及びnチャネルMISFETQnの形成領域を覆うマスク（前述の図12参照）を耐不純物注入マスクとして使用し、イオン注入法によりn型ウェル領域1Nの主面部にp型不純物をドーピングすることにより形成される。p型不純物にはイオン注入分布を浅くすることができシャロー化に好適な BF_2 が使用される。本実施の形態において BF_2 の注入エネルギー量は 10keV 、ドーズ量は 10^{14}atoms/cm^2 の条件が使用される。また、p型不純物にはBイオンやB分子イオンが実用的に使用できる。

【0161】前述のAs、 BF_2 のそれぞれのイオン注入後には、イオン注入に伴う半導体基板1表面のダメージの回復や不純物の活性化を目的としてアニールを行うことが好ましい。

【0162】(6) 図37に示すように、nチャネルMISFETQn、pチャネルMISFETQpのそれぞれの形成領域においてゲート電極4の側壁に絶縁膜4Aを介して及びダミー電極膜25の側壁にゲート側壁7を形成する。ゲート側壁7は、本実施の形態において、ダミー電極膜25との間でエッチング選択比を有する SiO_2 膜で形成される。 SiO_2 膜はCVD法、スパッタリング法等により成膜され、成膜後にRIE等の異方性エッチングにより平坦部分の SiO_2 膜を除去することによりゲート側壁7を形成することができる。

【0163】(7) 図38に示すように、ゲート電極4上のダミー電極膜25を選択的に除去する。ダミー電極膜25の除去には例えばホットリン酸が実用的に使用できる。ダミー電極膜25の除去により、ゲート電極4上には、エレベータッド電極8Gを収納しかつこのエレベータッド電極8Gの側面を覆うための、ゲート側壁7で周囲を囲まれたくぼみ4Dが形成される。

【0164】(8) 前述の第4の実施の形態に係る半導体集積回路の製造プロセスと同様に、図39に示すように、エレベータッド電極を形成するために、nチャネルMISFETQnの形成領域において半導体領域5L上に第1領域5g、第2領域5mのそれぞれを順次積層し、ゲート電極4上に第1領域4g、第2領域4mのそれぞれを順次積層するとともに、pチャネルMISFETQpの形成領域において半導体領域6L上に第1領域6g、第2領域

6 mのそれぞれを順次積層し、ゲート電極4上に第1領域4 g、第2領域4 mのそれぞれを順次積層する。これらの第1領域4 g、5 g、6 g、第2領域4 m、5 m、6 mのそれぞれは本実施の形態においてMBE法で成膜したエピタキヤル成長層で形成される。第1領域4 g、5 g、6 gのそれぞれは、 Si_2H_6 ガスと GeH_4 ガスとの混合ガスをソースガスとして使用し、 $\text{Si}_{0.88}\text{Ge}_{0.16}$ を10nmの膜厚で成長させることにより形成される。第2領域4 m、5 m、6 mのそれぞれは、第1領域4 g、5 g、6 gのそれぞれの成膜後に引き続き連続的に成膜され、4.1.6nm又はそれ以上の膜厚のSiで形成される。第2領域4 m、5 m、6 mのそれぞれは GeH_4 ガスの流量を0にし引き続き Si_2H_6 ガスをソースガスとしてエピタキヤル成長を行うことにより形成することができる。ゲート電極4上に形成された第1領域4 g、第2領域4 mのそれぞれは前述の図38に示すくぼみ4 D内に形成され、第1領域4 g、第2領域4 mのそれぞれの側面はゲート側壁7で覆われる。

【0165】(9)図40に示すように、nチャネルMISFET Q nの形成領域において一対の主電極5を形成するために、高低不純物濃度のn型半導体領域5 Hを形成するとともに、pチャネルMISFET Q pの形成領域において一対の主電極6を形成するために、高低不純物濃度のp型半導体領域6 Hを形成する。

【0166】n型の半導体領域5 Hは、主にnチャネルMISFET Q nの形成領域においてエレベータッド電極5 Eとして形成される第1領域5 g及び第2領域5 mにその内部にピークを持つようにn型不純物がイオン注入によりドーピングされ、このドーピングされたn型不純物をp型ウェル領域1 P表面部分に拡散させることにより形成される。本実施の形態に係る相補型MISFETはデュアルゲート電極構造を採用するので、n型不純物はゲート電極4上のエレベータッド電極4 Eとして形成される第1領域4 g及び第2領域4 mにもドーピングされ、このドーピングされたn型不純物はゲート電極4にも拡散され、n型のゲート電極4 Nが形成される。さらに、第1領域4 g、第2領域4 mのそれぞれにもn型不純物がドーピングされこのn型不純物が活性化されるので、エレベータッド電極4 Eが形成され、同様に第1領域5 g、第2領域5 mのそれぞれにもn型不純物がドーピングされこのn型不純物が活性化されるので、エレベータッド電極5 Eが形成される。n型不純物には拡散速度が遅くシャロー化に好適なAsが使用され、本実施の形態においてAsの注入エネルギー量は50keV、ドーズ量は 3×10^{15} atoms/cm²の条件が使用される。

【0167】p型の半導体領域6 Hは、主にpチャネルMISFET Q pの形成領域においてエレベータッド電極6 Eとして形成される第1領域6 g及び第2領域6 mにその内部にピークを持つようにp型不純物がイオン注入によりドーピングされ、このドーピングされたp型不純物をn型

ウェル領域1 N表面部分に拡散させることにより形成される。同様にデュアルゲート電極構造の採用により、p型不純物はゲート電極4上のエレベータッド電極4 Eとして形成される第1領域4 g及び第2領域4 mにもドーピングされ、このドーピングされたp型不純物はゲート電極4にも拡散され、p型のゲート電極4 Pが形成される。さらに、第1領域4 g、第2領域4 mのそれぞれにもp型不純物がドーピングされこのp型不純物が活性化されるので、エレベータッド電極4 Eが形成され、同様に第1領域6 g、第2領域6 mのそれぞれにもp型不純物がドーピングされこのp型不純物が活性化されるので、エレベータッド電極6 Eが形成される。p型不純物にはイオン注入分布を浅くすることができシャロー化に好適な BF_2 が使用され、本実施の形態において BF_2 の注入エネルギー量は40keV、ドーズ量は 3×10^{15} atoms/cm²の条件が使用される。

【0168】n型不純物、p型不純物の拡散並びに活性化はRTA等のアニールで行われる。アニールは、例えば N_2 ガス雰囲気中、1000℃の温度で10秒間行われる。

【0169】同図40に示す工程が終了した時点で、半導体領域5 L及び5 Hからなる主電極5が形成され、nチャネルMISFET Q nがほぼ完成する。本実施の形態において、nチャネルMISFET Q nのチャネル形成領域のアクセプター濃度は $10^{17} \sim 10^{18}$ atoms/cm³程度、主電極5のドナー濃度は $10^{19} \sim 10^{21}$ atoms/cm³程度、主電極5の接合深さは50～200nm程度で形成される。nチャネルMISFET Q nのゲート電極4 Nはデュアルゲート電極構造でn型に設定され、nチャネルMISFET Q nは表面チャネル型になるので、nチャネルMISFET Q nは短チャネル効果の抑制及び動作速度の高速化に好適で微細化を実現することができる。同様に、半導体領域6 L及び6 Hからなる主電極6が形成され、pチャネルMISFET Q pがほぼ完成する。pチャネルMISFET Q pのチャネル形成領域のドナー濃度は $10^{17} \sim 10^{18}$ atoms/cm³程度、主電極6のアクセプター濃度は $10^{19} \sim 10^{21}$ atoms/cm³程度、主電極5の接合深さは50～200nm程度で形成される。pチャネルMISFET Q pのゲート電極4 Pはデュアルゲート電極構造でp型に設定され、pチャネルMISFET Q pは表面チャネル型になるので、pチャネルMISFET Q pは短チャネル効果の抑制及び動作速度の高速化に好適で微細化を実現することができる。

【0170】なお、n型不純物、p型不純物のそれぞれのイオン注入に際してはエレベータッド電極4 E、5 E、6 Eのそれぞれの表面のダメージを防止した汚染を防止するためにバッファ膜として例えば SiO_2 膜を形成することが好ましい。

【0171】(10)図41に示すように、nチャネルMISFET Q nのエレベータッド電極4 E上にシリサイド電極8 G、エレベータッド電極5 E上にシリサイド電極8 M、pチャネルMISFET Q pのエレベータッド電極4 E上

にシリサイド電極8G、エレベーター電極6E上にシリサイド電極8Mのそれぞれを同一製造工程で形成する。本実施の形態においてシリサイド電極8G、8Mのそれぞれはシリサイド化による CoSi_2 膜で形成される。 CoSi_2 膜は、まずエレベーター電極4E、5E、6Eのそれぞれの表面を露出させた後、これらの表面上含む半導体基板1上の全面にCo膜、キャップ層としてのTiN膜を順次成膜する。Co膜、TiN膜はいずれも例えばスパッタリング法で成膜し、Co膜は例えば12nmの膜厚で形成される。このCo膜は非酸化性雰囲気中、500℃の温度で60秒間のアニールを行った後、未反応のCo膜を除去し、引き続き750℃の温度で30秒間のアニールを行う2段階アニール法によりシリサイド化され、40nmの膜厚を有するシリサイド電極8G、8Mのそれぞれを形成することができる。前述の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の製造プロセスで説明したように、アニールにはRTA法が使用され、前述の未反応のCo膜の除去には例えば硫酸と過酸化水素水との混合溶液が使用される。

【0172】nチャネルMISFETQnにおいて、シリサイド電極8Gはエレベーター電極4EのGeを含まないSiで形成された第2領域4nの少なくとも一部を第2領域4nの範囲内でシリサイド化することにより形成されるので、シリサイド電極8GにはGeが含まれない。特に、エレベーター電極4Eの第1領域4gの側面はシリサイド化の際にゲート側壁7で覆われているので、シリサイド電極8Gには第1領域4gのGeは含まれることがない。さらに、シリサイド電極8Mはエレベーター電極5EのGeを含まないSiで形成された第2領域5nの少なくとも一部を第2領域5nの範囲内でシリサイド化することにより形成されるので、シリサイド電極8MにはGeが含まれない。同様に、pチャネルMISFETQpにおいて、シリサイド電極8Gはエレベーター電極4EのGeを含まないSiで形成された第2領域4pの少なくとも一部を第2領域4pの範囲内でシリサイド化することにより形成されるので、シリサイド電極8GにはGeが含まれない。特に、エレベーター電極4Eの第1領域4gの側面はシリサイド化の際にゲート側壁7で覆われているので、シリサイド電極8Gには第1領域4gのGeは含まれることがない。さらに、シリサイド電極8Mはエレベーター電極6EのGeを含まないSiで形成された第2領域6pnの少なくとも一部を第2領域6pの範囲内でシリサイド化することにより形成されるので、シリサイド電極8MにはGeが含まれない。

【0173】なお、前述の第4の実施の形態に係る半導体集積回路の製造プロセスで説明したように、図41には(図33も同様)エレベーター電極4E、5E、6Eのそれぞれの第2領域4n、4p、5n、6pは一部を残した状態を示しているが、エレベーター電極4Eとシリサイド電極8Gとの間の接続抵抗、エレベーター電極5Eとシリサイド電極8Mとの接続抵抗、エレベ

ーター電極6Eとシリサイド電極8Mとの接続抵抗をいずれも減少させる場合には、第2領域4n、4p、5n、6pのそれぞれはすべてシリサイド化されることが好ましい。

【0174】(11) 前述の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の製造プロセスと同様に、層間絶縁膜10、接続孔11、コンタクトプラグ電極12、層間絶縁膜13、接続孔14、配線15のそれぞれを順次形成することにより、前述の図33に示す本実施の形態に係る半導体集積回路が完成する。

【0175】このように構成される半導体集積回路においては、前述の第4の実施の形態に係る半導体集積回路で得られる効果に加えて、エレベーター電極4EのSiGeで形成された第1領域4gの側面がゲート側壁7で覆われた状態でシリサイド化によりシリサイド電極8Gが形成されるので、シリサイド電極8Gにはより一層Geが含まれない。従って、シリサイド電極8Gの抵抗値を減少させることができる。

【0176】なお、本発明は前述の実施の形態に限定されない。例えば、本発明は、半導体領域で形成されたエミッタ電極(主電極)上にエピタキシャル成長層で形成されたエレベーターエミッタ電極を形成するバイポーラトランジスタを備えた半導体集積回路に適用することができる。さらに、本発明は、半導体領域で形成されたアノード電極又はカソード電極(主電極)上にエピタキシャル成長層で形成されたエレベーターアノード電極又はエレベーターカソード電極を形成するダイオード素子を備えた半導体集積回路に適用することができる。

【0177】

【発明の効果】本発明は、第1に、ゲート電極にドーピングされた不純物のチャネル領域側への漏れを防止することにより、安定した閾値電圧を得ることができ、電気的信頼性を向上させることができるMISFETを備えた半導体集積回路を提供することができる。

【0178】本発明は、第2に、ゲート電極にドーピングされた不純物の濃度を全域にわたって十分に確保し、ゲート電極の空乏層化を防止することにより、安定した閾値電圧を得ることができ、電気的信頼性を向上させることができるMISFETを備えた半導体集積回路を提供することができる。

【0179】本発明は、第3に、第1並びに第2の効果と同時に得ることができる半導体集積回路を提供することができる。特に、本発明は、相補型MISFETのいずれのチャネル導電型のMISFETにおいても安定した閾値電圧を得ることができ、電気的信頼性を向上させることができる半導体集積回路を提供することができる。

【0180】本発明は、第4に、第1乃至第3の効果の少なくともいずれか1つの効果を得ることができ、さらにMISFETの微細化を図り、集積度を向上させることができる半導体集積回路を提供することができる。

【0181】本発明は、第5に、第1乃至第3の効果の少なくともいずれか1つの効果を得ることができ、さらにMISFETのスイッチング動作速度の高速化並びに低電源電圧化を実現することができ、回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる半導体集積回路を提供することができる。特に本発明は、MISFETのゲート電極に備えたシリサイド電極の抵抗値を減少させることにより、MISFETのスイッチング動作速度の高速化並びに低電源電圧化を実現することができ、回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる半導体集積回路を提供することができる。

【0182】本発明は、第6に、第1乃至第5の効果の少なくともいずれか1つの効果を得ることができ、さらに製造工程数を低減させることができる半導体集積回路の製造方法を提供することができる。特に、本発明は、相補型MISFETの製造工程数を低減させることができる半導体集積回路の製造方法を提供することができる。

【0183】本発明は、第7に、エレベータード電極を備えたMISFETのソース電極及びドレイン電極（主電極）のシャロー化を図り、MISFETの微細化を実現することにより、集積度を向上させることができる半導体集積回路を提供することができる。

【0184】本発明は、第8に、第7の効果を得ることができ、さらにエレベータード電極の低抵抗化並びに低電源電圧化を実現し、回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる半導体集積回路を提供することができる。

【0185】本発明は、第9に、第7又は第8の効果を得ることができ、さらにエレベータード電極とシリサイド電極との接触抵抗値を減少させ、回路動作速度の高速化並びに低消費電力化を実現することができる半導体集積回路を提供することができる。

【0186】本発明は、第10に、第7乃至第9の効果を得ることができ、さらに製造工程数を低減させることができる半導体集積回路の製造方法を提供することができる。

【0187】本発明は、第11に、第1乃至第10の効果の少なくとも2以上の効果を同時に得ることができる半導体集積回路又は半導体集積回路の製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の相補型MISFET部分を示す断面構造図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態に係る相補型MISFETの平面図である。

【図3】(A)は本発明の第1の実施の形態に係るnチャネルMISFETの詳細な要部断面構造図、(B)は本発明の第1の実施の形態に係るpチャネルMISFETの詳細な要部断面構造図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態に係るゲート電極表

面からの深さとSiGe組成比との関係を示す図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態に係るゲート電極表面からの深さとSiGe組成比とAs濃度との関係を示す図である。

【図6】本発明の第1の実施の形態に係るゲート電極表面からの深さとSiGe組成比とB濃度との関係を示す図である。

【図7】本発明の第1の実施の形態に係る製造プロセスを各製造工程毎に示す半導体集積回路の工程断面図である。

【図8】本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図9】本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図10】本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図11】本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図12】本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図13】本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図14】本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図15】本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図16】本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図17】本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図18】本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図19】本発明の第1の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図20】本発明の第2の実施の形態に係るゲート電極の表面からの深さとSiGe組成比との関係を示す図である。

【図21】本発明の第2の実施の形態に係るゲート電極の表面からの深さとSiGe組成比との関係を示す図である。

【図22】(A)、(B)、(C)、(D)、(E)はいずれも本発明の第3の実施の形態に係る半導体集積回路のnチャネルMISFETの詳細な要部断面構造図である。

【図23】本発明の第4の実施の形態に係る半導体集積回路の相補型MISFET部分を示す断面構造図である。

【図24】本発明の第4の実施の形態に係るエレベータード電極の表面からの深さとSiGe組成比との関係を示す図である。

【図25】本発明の第4の実施の形態に係るエレベータード電極の表面からの深さとSiGe組成比との関係を示す

図である。

【図26】本発明の第4の実施の形態に係る製造プロセスを各製造工程毎に示す半導体集積回路の工程断面図である。

【図27】本発明の第4の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図28】本発明の第4の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図29】本発明の第4の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図30】本発明の第4の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図31】本発明の第4の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図32】本発明の第4の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図33】本発明の第5の実施の形態に係る半導体集積回路の相補型MISFET部分を示す断面構造図である。

【図34】本発明の第5の実施の形態に係る製造プロセスを各製造工程毎に示す半導体集積回路の工程断面図である。

【図35】本発明の第5の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図36】本発明の第5の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図37】本発明の第5の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図38】本発明の第5の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図39】本発明の第5の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

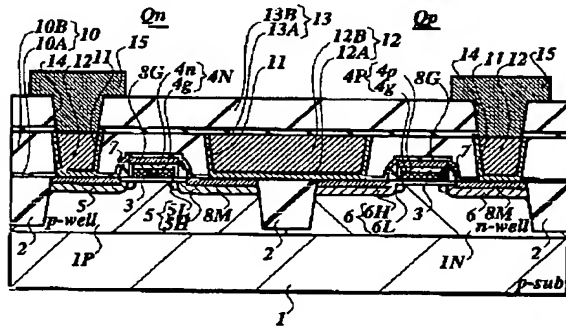
【図40】本発明の第5の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【図41】本発明の第5の実施の形態に係る半導体集積回路の工程断面図である。

【符号の説明】

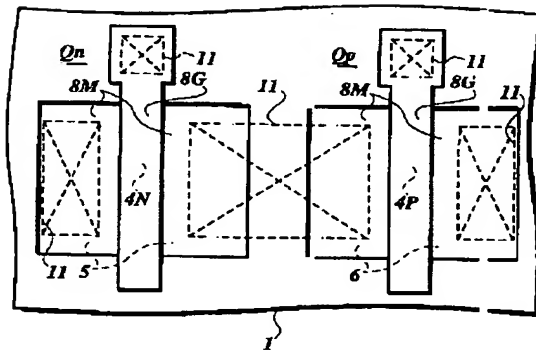
- 1 半導体基板
- 1P, 1N ウェル領域
- 2 素子分離領域
- 3 ゲート絶縁膜
- 4P, 4N ゲート電極
- 4p, 4n, 5n, 6p 第2領域
- 4g, 5g, 6g 第1領域
- 5, 6 主電極
- 5L, 5H, 6L, 6H 半導体領域
- 4E, 5E, 6E エレベータッド電極
- 7 ゲート側壁
- 8G, 8M シリサイド電極
- 10, 13 層間絶縁膜
- 11, 14 接続孔
- 12 コンタクトプラグ電極
- 15 配線
- Qn, Qp MISFET

【図1】

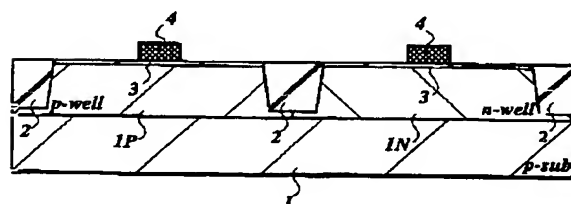


- 1 半導体基板
- 1P, 1N ウェル領域
- 2 素子分離領域
- 3 ゲート絶縁膜
- 4P, 4N ゲート電極
- 4p, 4n 第2領域 (Si)
- 4g 第1領域 (SiGe)
- 5, 6 ソース・ドレイン電極
- 5L, 5H 半導体領域
- 6L, 6H 半導体領域
- 7 ゲート側壁
- 8G, 8M シリサイド電極
- 10, 13 層間絶縁膜
- 11, 14 コンタクトホール
- 12 コンタクトプラグ
- 15 配線

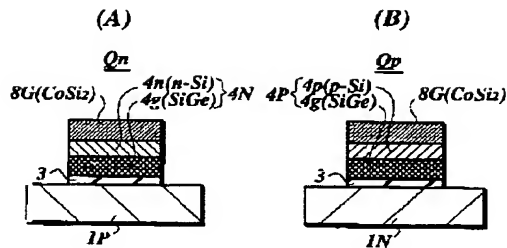
【図2】



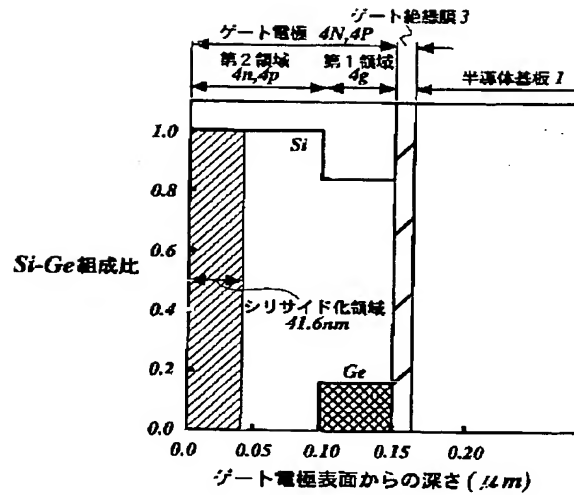
【図27】



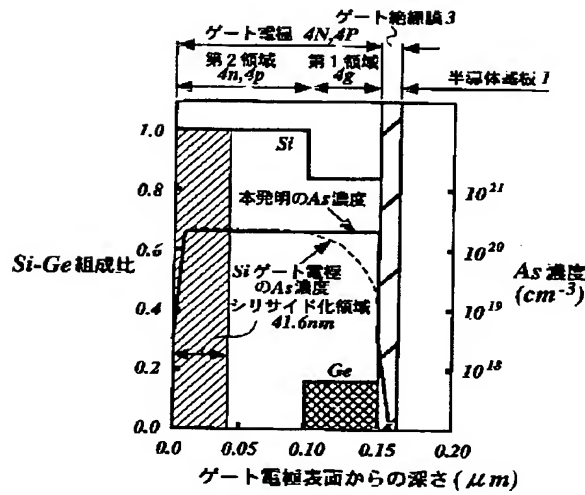
【図3】



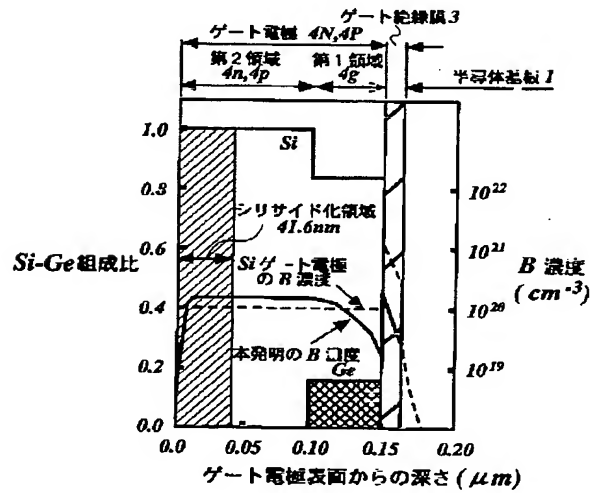
【図4】



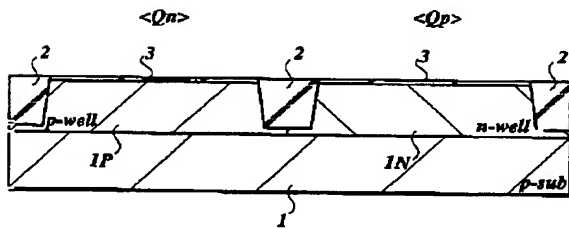
【図5】



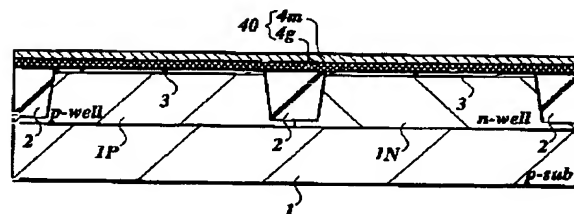
【図6】



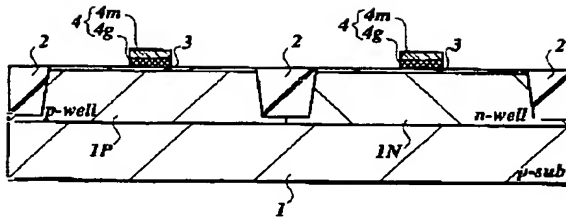
【図7】



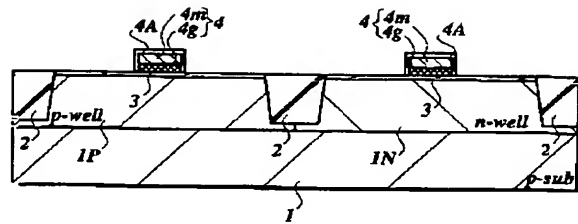
【図8】



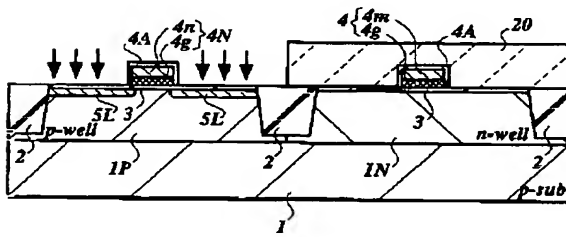
【図9】



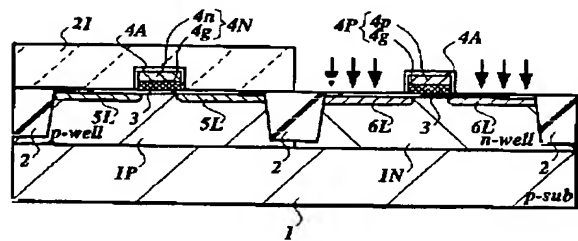
【図10】



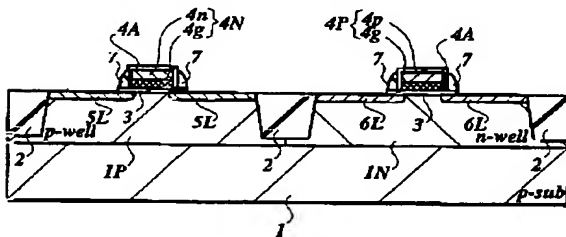
【図11】



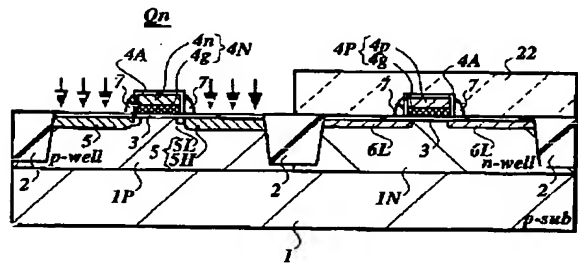
【図12】



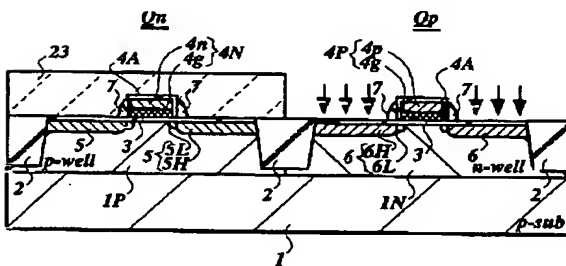
【図13】



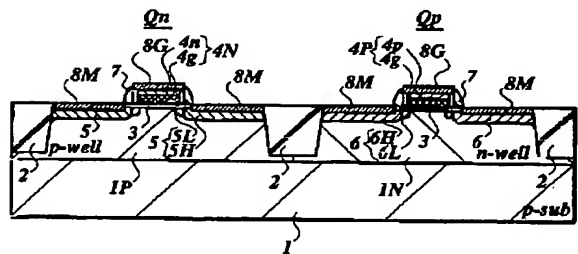
【図14】



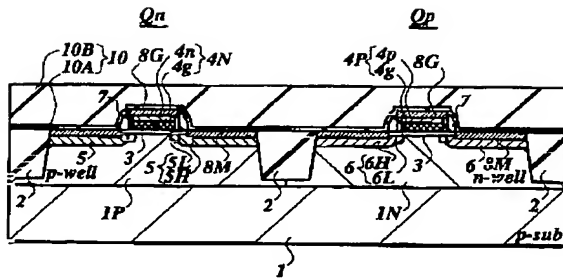
【図15】



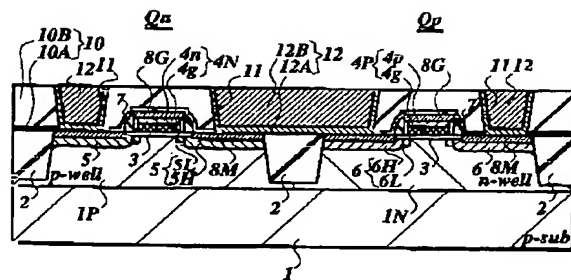
【図16】



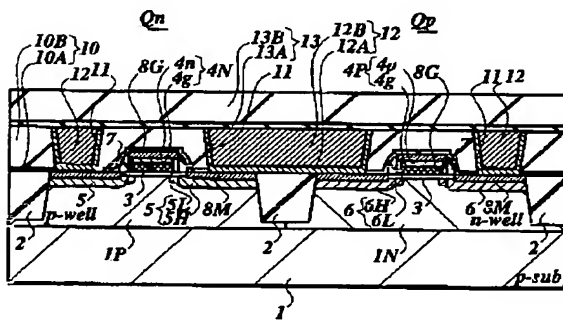
【図17】



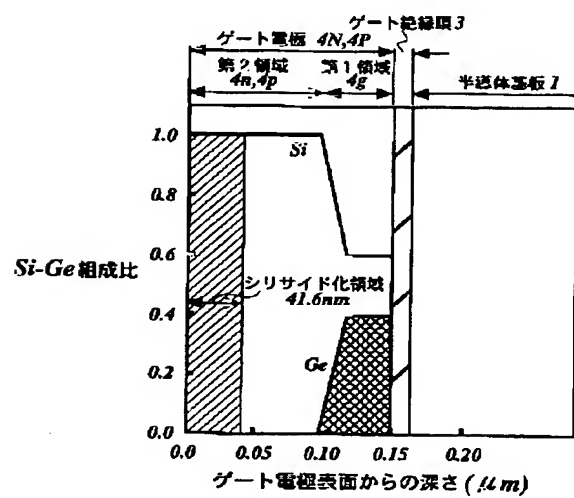
【図18】



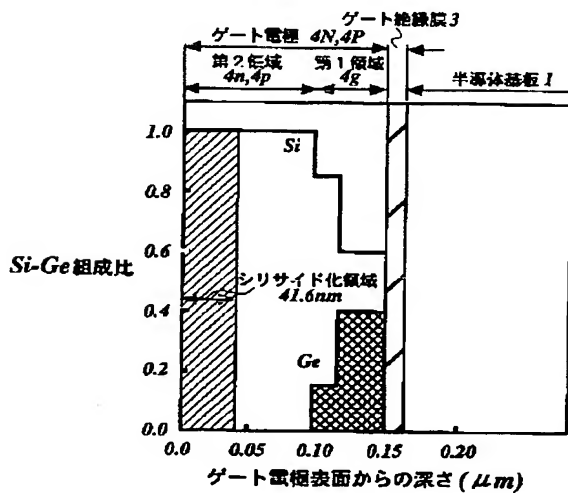
【図19】



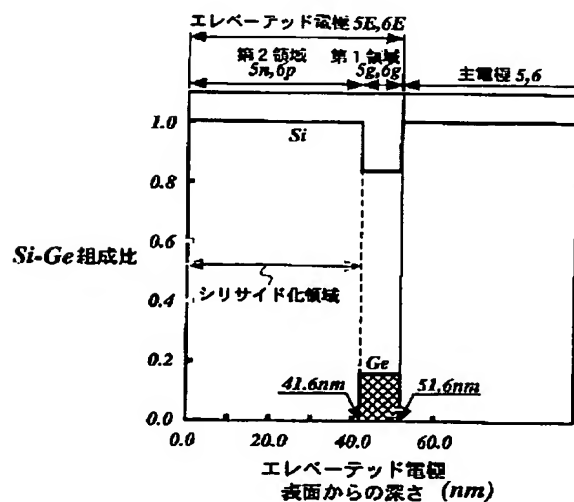
【図20】



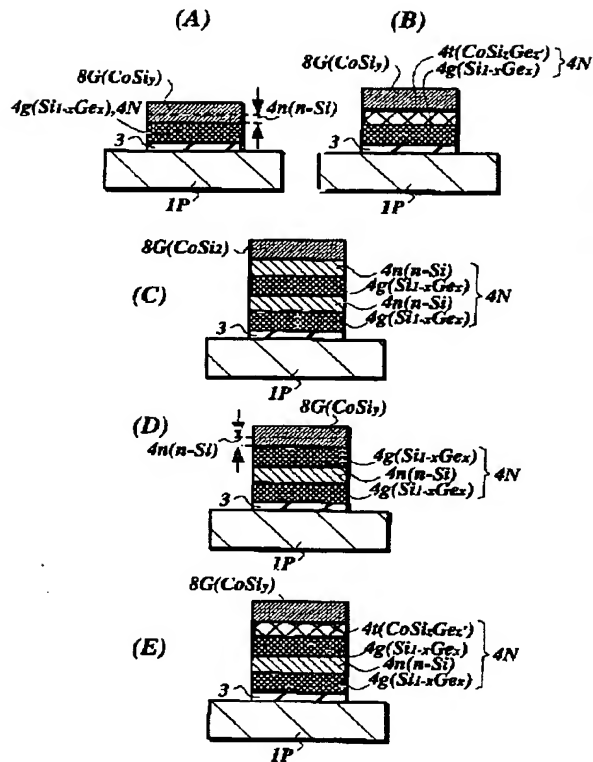
【図21】



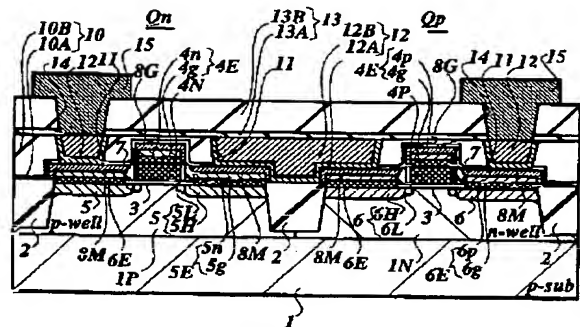
【図24】



【図22】

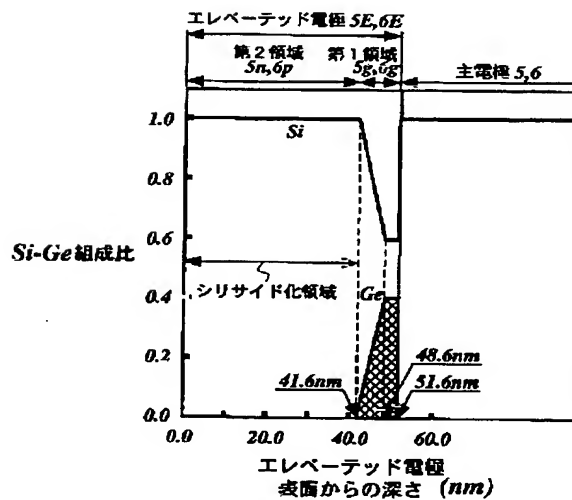


【図23】

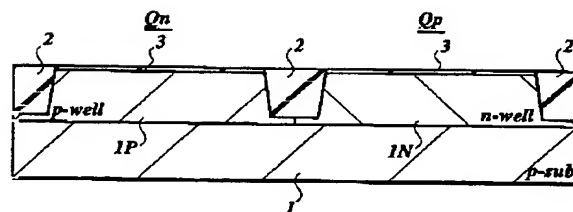


- | | |
|----------------|---------------|
| 1 | 半導体基板 |
| 1P, 1N | ウェル領域 |
| 2 | 素子分離領域 |
| 3 | ゲート絶縁膜 |
| 4P, 4N | ゲート電極 |
| 4p, 4n, 5n, 6p | 第2領域 (Si) |
| 4g, 5g, 6g | 第1領域 (SiGe) |
| 5, 6 | ソース電極又はドレイン電極 |
| 5L, 5H | 半導体領域 |
| 6L, 6H | 半導体領域 |
| 4E, 5E, 6E | エリベテッド電極 |
| 7 | ゲート側壁 |
| 8G, 8M | シリサイド電極 |
| 10, 13 | 層間絶縁膜 |
| 11, 14 | コンタクトホール |
| 12 | コンタクトプラグ |
| 15 | 配線 |

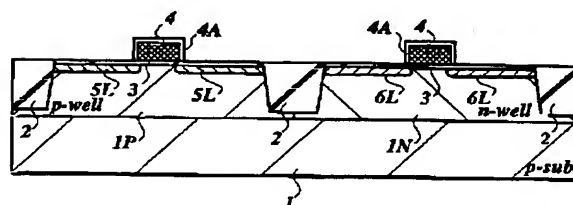
【図25】



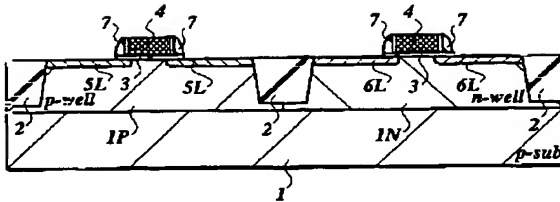
【図26】



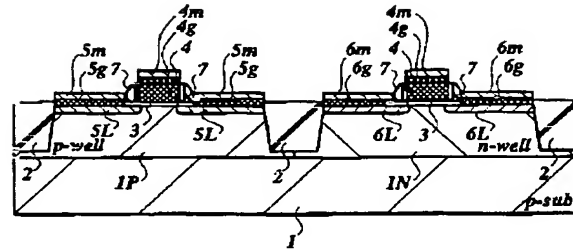
【図28】



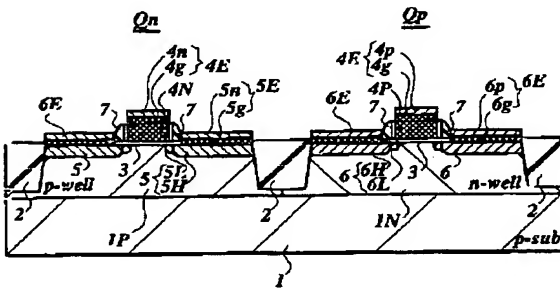
【図29】



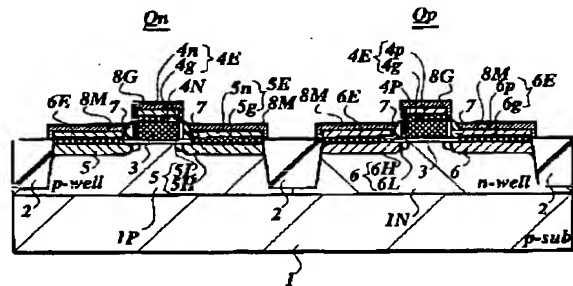
【図30】



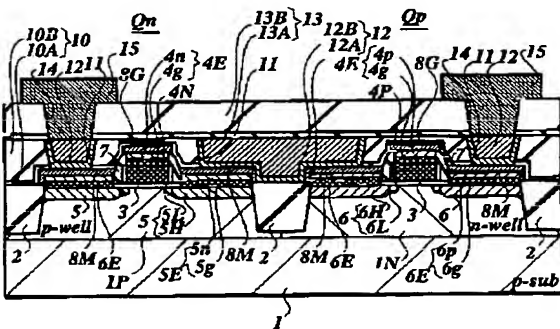
【図31】



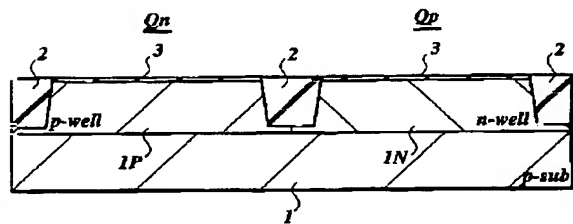
【図32】



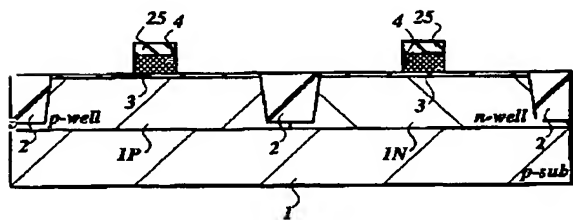
【図33】



【図34】

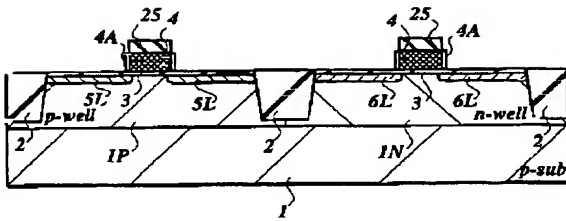


【図35】

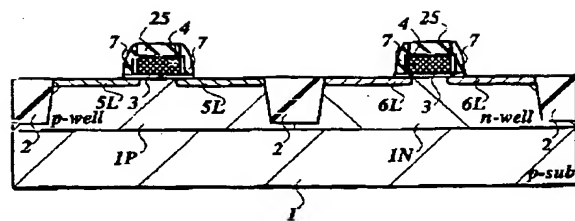


- 1 半導体基板
 1P, 1N ウェル領域
 2 素子分離領域
 3 ゲート絶縁膜
 4P, 4N ゲート電極
 4p, 4n, 5n, 6p 第2領域 (Si)
 4g, 5g, 6g 第1領域 (SiGe)
 5, 6 ソース電極又はドレイン電極
 5L, 5H 半導体領域
 6L, 6H 半導体領域
 4E, 5E, 6E エレベータッド電極
 7 ゲート側壁
 8G, 8M シリサイド電極
 10, 13 層間絶縁膜
 11, 14 コンタクトホール
 12 コンタクトプラグ
 15 配線

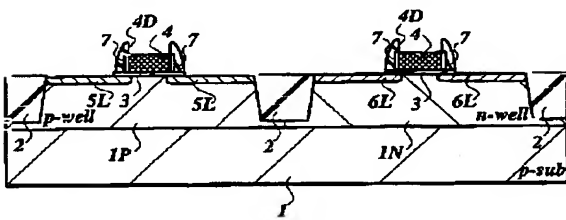
【图36】



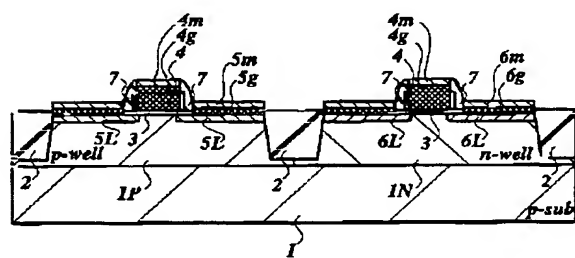
【☒37】



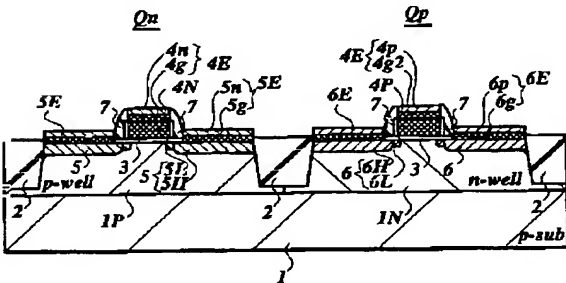
【図38】



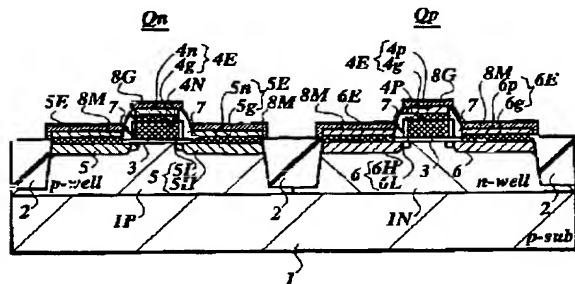
【図39】



【図40】



【☒4 1】



フロントページの続き

(72)発明者 水島 一郎
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
式会社東芝横浜事業所内

F ターム(参考) 4M104 AA01 BB36 BB39 CC01 CC05
DD02 DD16 DD43 DD65 DD84
FF13 GG10 HH14 HH20
5F040 DA06 DA10 DA13 DB03 DC01
EB03 EC02 EC05 EC07 EC13
EF02 EF14 EH02 EJ03 EK05
FA07 FA12 FB02 FC06 FC09
FC21
5F048 AA01 AA07 AA09 AB01 AB03
AC03 BA01 BB04 BB08 BB10
BB13 BB16 BB17 BB18 BC05
BC06 BC15 BC18 BD04 BE03
BF07 BF11 BF16 BG13 DA25
DA27